

**Univerzita Karlova v Praze
Přírodovědecká fakulta**

Studijní program: Geologie
Studijní obor: Geologie – Ložisková geologie



Bc. Eliška Müllerová

Chemostratigrafie holešických vrstev mostecké pánve (miocén)

Chemostratigraphy of the Holešice Member in the Most Basin (Miocene)

Diplomová práce

Školitel: doc. RNDr. Stanislav Opluštil, Ph. D.

Praha 2017

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 20. 8. 2017

Podpis:

Bc. Eliška Müllerová

ABSTRAKT

Nejnovější geochemické a sedimentologické studie libkovických vrstev mostecké pánve prokázaly existenci záznamu sedimentární cyklicity řízené změnou orbitálních parametrů Země a tvarem její oběžné dráhy. Hlavním cílem této práce bylo ověřit hypotézu, zda existuje podobný cyklický záznam i v podloží libkovických vrstev, tj. ve stropu holešických vrstev, kde se vyskytují jezerní sedimenty menšího plošného rozsahu, tzv. břešťanské jíly. Základem diplomové práce proto byla geochemická analýza koncentrace vybraných prvků pomocí mobilního XRF přístroje aplikované na vrtná jádra z mostecké pánve ve stratigrafickém úseku definovaném stropem uhelné sloje a bází libkovických vrstev. Rovněž byl proveden litologický popis vrtů, popis textury vybraných vzorků jílu. Dále byla provedena mineralogická analýza pomocí metody rentgenové difrakce. Při analýze se osvědčil mobilní XRF přístroj, a to především pro analýzu těžších prvků Fe a Sr, méně již pro lehčí prvky K a Ti. Přesto se podařilo analyzované sedimenty zařadit do již publikovaného chemostratigrafického schématu sedimentů mostecké pánve a potvrdit tak jeho platnost. Ve všech čtyřech studovaných vrtech se podařilo identifikovat vrstvu břešťanských jílu na základě odlišného složení jílových minerálů. Detailním geochemickým měřením s krokem po deseti centimetrech byly zjištěny cyklicky kolísající obsahy železa, které souvisejí s rozdílnou intenzitou bioturbace podmíněnou množstvím vysráženého sideritu. Studium cyklicity vertikální distribuce sideritových lamin metodou frekvenční analýzy ve vrtech HK772 a SP312 ukázalo, že tyto změny patrně představují záznam astronomického cyklu s vlnovou délkou kolem 2 m podmíněný periodickými změnami v geochemii pórové vody v důsledku orbitálně podmíněných klimatických změn. Analýza cyklicity naznačuje, že cyklus s vlnovou délkou kolem 2 m patrně odpovídá záznamu cyklu precese zemské osy a že se tedy břešťanské jíly ukládaly rychlostí kolem 10 cm/tis. let. Diplomová práce tak v konečném důsledku přispěje k využití cyklostratigrafie v analýze jezerních sedimentů, k popisu paleoklimatu spodního miocénu a k popisu vývoje mostecké pánve v mezidobí od skončení uhlotvorby do vzniku celopánevního jezera.

SUMMARY

The newest geochemical and sedimentological studies of the Libkovice Member in the Most Basin revealed existence of a sedimentary cyclicity record that is controlled by the change of Earth's orbital parameters and the shape of its orbit. The main objective of this work was to verify the hypothesis whether there is also a similar cyclical record in strata underlying the Libkovice Member. This interval located in top of the Holešice Member consists of lacustrine sediments of a smaller extent represented by the so-called Břešťany Clays. The aim of the diploma thesis was a geochemical analysis of the concentration of selected elements measured by a mobile XRF device from the drilling cores in the stratigraphic interval between the roof of the Main Coal and the base of the Libkovice Member. Also made was a litological description of boreholes and sedimentary texture of selected clay samples. A mineralogical analysis was performed using the X-ray diffraction method. Usefulness of the XRF mobile device was proven especially for the heavier elements (e.g., Fe and Sr) and less for the lighter elements K and Ti. Nevertheless, it was possible to assign the analysed sediments to the already published chemostratigraphic subdivision of the Most Basin and to confirm its validity. The Břešťany Clays horizon was identified in all four boreholes studied, based on distinct clay mineral association. Detailed geochemical study with interval of measurement of 10 cm revealed cyclical changes in iron content related to intensity of bioturbation and, in turn, the amount of precipitated siderite. The frequency analysis of the cyclic record expressed by the vertical distribution of siderite laminae and iron content in the HK772 and SP312 boreholes shows a possible record of the astronomical cycle with a wavelength of about 2 m associated with periodic changes in the pore water geochemistry. This is probably related to climatic oscillations driven by changes in orbital parameters of the Earth. The frequency analysis of the cyclic record suggests that a wavelength of about 2 m probably corresponds to a record of the precession cycle of the Earth's axis, and that therefore the Břešťany Clays stood at a rate of about 10 cm/ky. In turn, diploma thesis will contribute to application of the chemostratigraphic methods into the analysis of lacustrine sediments in general, better understanding of climate during the early Miocene and can further contribute to the understanding of depositional history of the Most Basin during this time interval.

Obsah

1.	Úvod a cíle práce.....	9
2.	Geologie mostecké pánve	10
2.1.	Stratigrafie mostecké pánve	12
2.1.1.	Starosedelské souvrství	12
2.1.2.	Střezovské souvrství.....	13
2.1.3.	Mostecké souvrství.....	13
2.2.	Názory na vznik mostecké pánve	15
2.2.1.	Tafrogenní teorie (Kopecký 1990).....	15
2.2.2.	Vznik pánve vulkano–tektonickou subsidencí (Malkovský 1980, 1985).....	15
2.2.3.	Pánev jako velevrásová struktura (Hurník et Havlena 1982, 1984)	16
2.2.4.	Zlomový systém směru V–Z tzv. en-echelon zlomy (Rajchl et Uličný 2005)	16
3.	Chemostratigrafie	17
3.1.	Chemostratigrafie v mostecké pánvi	17
4.	Metodika.....	23
4.1.	Metodika makroskopického popisu jílu vrtného jádra	26
4.2.	Mikrotexturní analýza jílu a intenzity bioturbace.....	26
4.3.	Stanovení minerálního složení jílu pomocí rentgenové difrakční analýzy	27
4.4.	Studium prvkového složení jílu.....	27
	Sledované prvky a prvkové poměry	28
4.5.	Frekvenční analýza.....	30
5.	Výsledky	31
5.1.	Petrografický popis břestánských jílu.....	31
5.1.1.	Makroskopický popis	31
5.1.2.	Mikroskopický popis.....	31
5.2.	Rentgenová analýza vzorků jílu	33
5.3.	Studium mineralogického a prvkového složení sedimentů	34
5.4.	Frekvenční analýza břestánských jílu	39
6.	Interpretace a diskuze	48
7.	Závěr	51
8.	Poděkování	53
9.	Seznam použité literatury	54

10.	Přílohy	59
------------	----------------------	-----------

Seznam obrázků

Obr. 1. Mapa polohy mostecké pánve v oherském riftu. Upraveno podle Rajchla et al. (2009)	11
Obr. 2. Mapa mostecké pánve s vyznačenými polohami studovaných vrtů. K. Mach.....	12
Obr. 3. Stratigrafické schéma výplně mostecké pánve. Kvaček et al. (2004).....	13
Obr. 4. Rozdíly ve složení hornin spodního a svrchního komplexu podle Elznice et al. (1988)	18
Obr. 5. Ukázka chemostratigrafie v jednom vrtu na Chomutovsku, jednom na Bílinsku ve dvou vrtech v oblasti Hrdlovky-Oseka podle Matyse Grygara et Macha (2013).	20
Obr. 6. Pozice vrtů v předpolí lomu Bílina. K. Mach.	24
Obr. 7. Pozice vrtů v lomu Doly Nástup Tušimice. K. Mach.	25
Obr. 8. Vzorník pro popis vrtného jádra dle obsahu bioturbace s krokem po ~ 10 %	26
Obr. 9. Měření přístrojem XL3t GOLDD+ na lokalitě lomu Bílina. Foto: Ing. Karel Mach, 2015	28
Obr. 10. Mikrofotografie studovaných vzorků s ~ desetiprocentní bioturbací (tmavé jsou výplně bioturbací, světlé původní hornina).	32
Obr. 11. Mikrofotografie studovaných vzorků s ~ osmdesátiprocentní bioturbací (tmavé jsou výplně bioturbací, světlé původní hornina).	32
Obr. 12. Graf závislosti sideritové výplně na bioturbaci.....	34
Obr. 13. Profil vrtu HK772 s vyznačenými Sr, Fe anomáliemi a K/Ti minimem.....	35
Obr. 14. Profil vrtu LB382 s vyznačenými Sr, Fe anomáliemi a K/Ti minimem.	35
Obr. 15. Profil vrtu LB435 s vyznačenými Sr, Fe anomáliemi a K/Ti minimem.	36
Obr. 16. Profil vrtu SP312 s vyznačenými Sr, Fe anomáliemi a K/Ti minimem.	36
Obr. 17. Vazba bioturbace (Planolites montanus) na železo ve vrtu HK772.....	37
Obr. 18. Vazba bioturbace (Planolites montanus) na železo ve vrtu SP312.	37
Obr. 19. Korelace vrtů HK772 (Hrdlovka) a SP312 (Spořice) pomocí obsahů Sr a Fe.	38
Obr. 20. Vrt HK772, koncentrace Fe, spektrální rozbor pro celou řadu s využitím metody MTM.	39
Obr. 21. Vrt HK772, rozsah hloubek jako na Obr. P1, koncentrace Fe. Hledání frekvencí s využitím pohyblivého okna o velikosti 8 m (time-frequency analysis; EHA).	40
Obr. 22. Vrt HK772, rozsah hloubek jako na Obr. P1, koncentrace Sr.	41
Obr. 23. Vrt HK772, koncentrace Fe.	42
Obr. 24. Vrt HK772, koncentrace Sr, odfiltrované signály s1 a s3.....	43

Obr. 25. Dtto Fig. 4 pro frekvence s F-test signif. ≥ 0.97 .	44
Obr. 26. Vrt SP312, koncentrace Fe, metoda MTM. Metoda našla jednu frekvenci cca 0,5 cyklu/m.....	45
Obr. 27. Vrt SP312, koncentrace Fe, metoda EHA. I tato metoda ukazuje potenciální astronomickou frekvenci kolem 0,5 cyklu/m.	46
Obr. 28. Vrt SP312, koncentrace Fe, metoda ASM, metoda provedená pro hranici významnosti ≥ 0.98 . Metoda neposkytuje rozumný odhad sedimentační rychlosti. Je to důsledkem faktu, že metodou MTM byla nalezena jen jedna potenciálně astronomická frekvence.....	46
Obr. 29. Vrt SP312, koncentrace Fe, metoda ASM provedená pro hranici významnosti ≥ 0.95 . Hodnocení podobně jako hodnocení v popisku k Obr. 28.....	47

1. Úvod a cíle práce

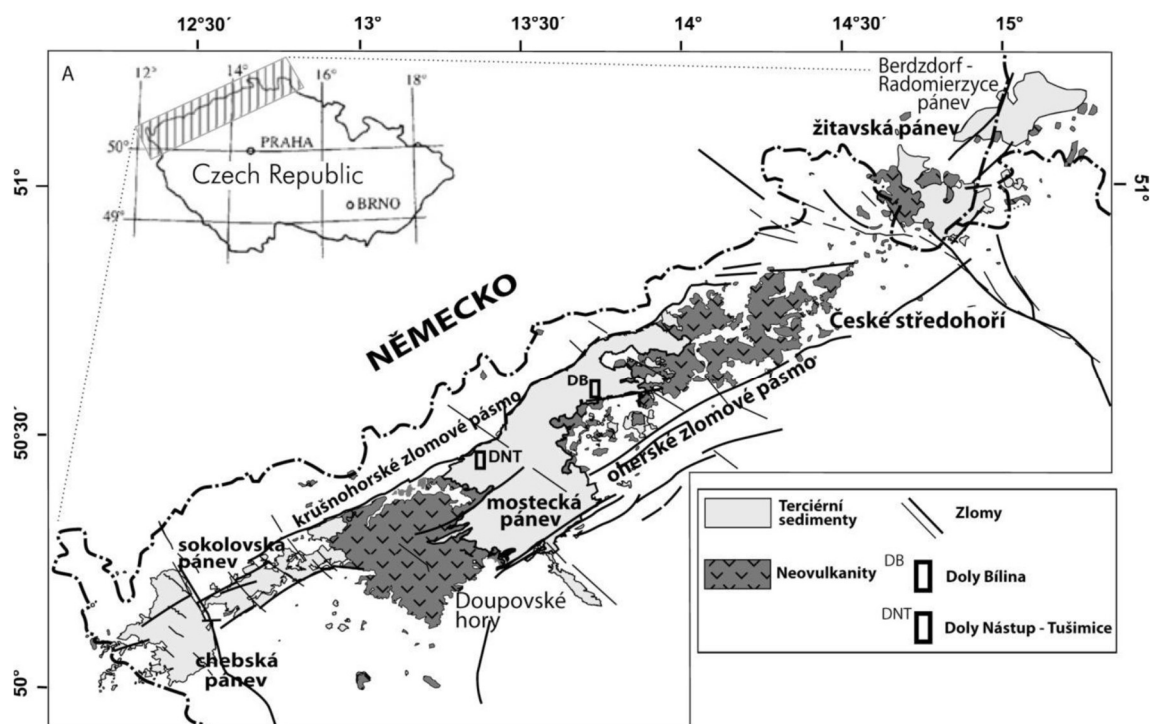
Stratigrafie je geovědní disciplína, která studuje sledy sedimentárních vrstev, jejich vzájemné korelace a stáří. Jedním z metodických přístupů stratigrafie je i chemostratigrafie, která využívá změn chemického složení sedimentárních sekvencí a získaná data používá ke stratigrafické korelaci. Chemostratigrafie může být také využita k výzkumu klimatických změn na místní, regionální a globální úrovni, které spoluutvářejí podmínky ukládání sedimentů. Nejznámějším příkladem chemostratigrafie je patrně objev vrstvy bohaté iridiem blízko hranice mezi křídou a terciérem po celém světě. Vysoká koncentrace iridia svědčí o velkém výskytu mimozemského materiálu, pravděpodobně z velkého asteroidu, který v té době narazil do naší planety (<https://en.wikipedia.org/wiki/Chemostratigraphy>). Jednou z oblastí, kde se chemostratigrafie začíná úspěšně používat, je mostecká pánev v severozápadních Čechách.

První systematický geochemický výzkum sedimentů mostecké pánve s využitím ve stratigrafii prováděl již Elznic (1973). V současnosti se chemostratografií mostecké pánve věnují Matys Grygar et Mach (2013 a, b, 2014, v tisku). Jejich výzkum je zaměřen především na libkovické vrstvy mosteckého souvrství.

Jedna z věcí, která nebyla v detailu dosud studována, je geochemie břešťanských jílu, jezerního komplexu ve stropu holešických vrstev v podloží vrstev libkovických. Předmětem této diplomové práce je proto detailní geochemický výzkum této části vrstevního sledu v rozlišení, které nebylo dosud aplikováno. Rozsáhlé odkryvy břešťanských jílu v Dolu Bílina a jejich laterálních ekvivalentů v Dolech Nástup Tušimice, jakož i profily v několika vrtech v předpolí těchto lomů umožnily autorce provést multimetodický výzkum. Cílem komplexního geochemického (EDXRF), mineralogického (RTG) a mikrotextrního studia výbrusů bylo nalézt geochemická, ev. mineralogická rozhraní stratigrafického významu a interpretovat je z hlediska jejich pravděpodobného vzniku. Sledovaný časový interval spodního miocénu je obdobím klimatických změn, a tak velká pozornost byla věnována právě možnému klimatickému původu zjištěných geochemických/mineralogických anomálií.

2. Geologie mostecké pánve

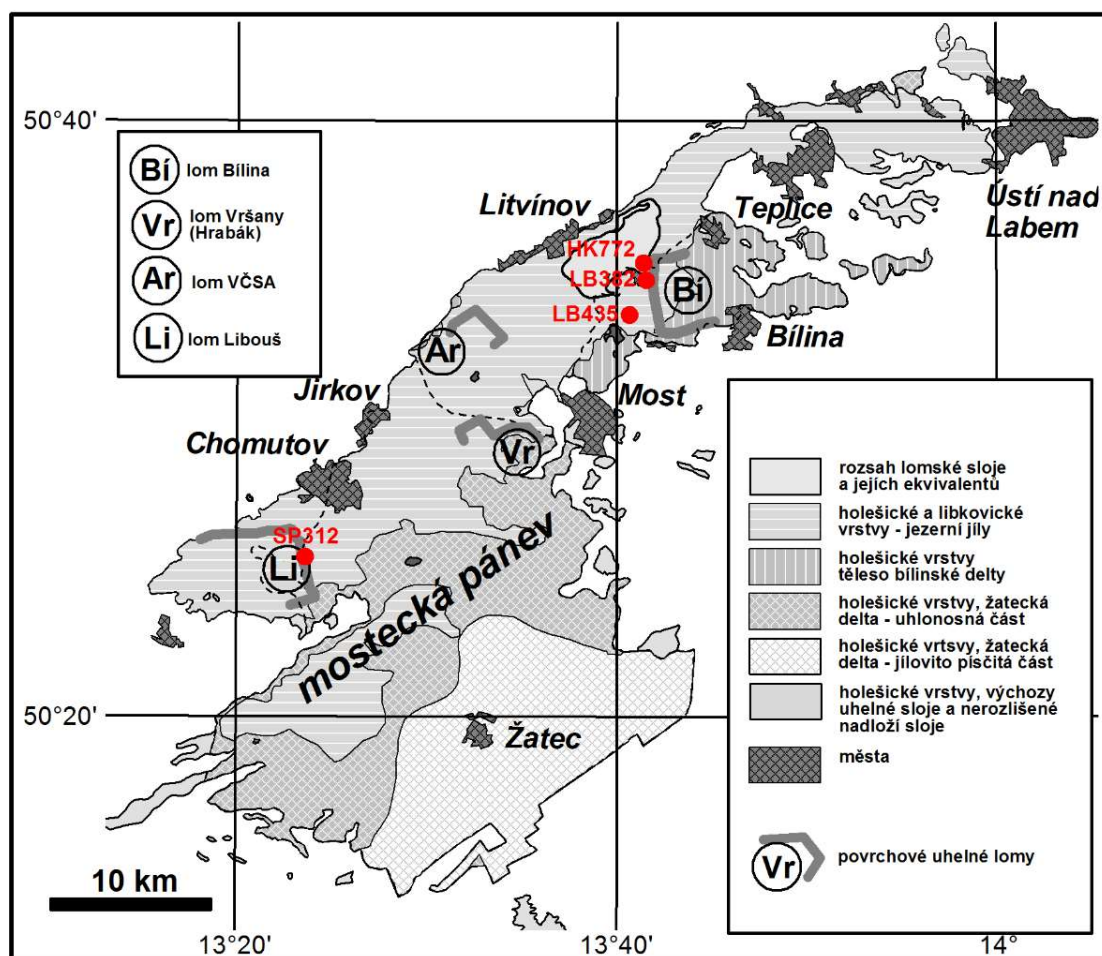
Mostecká pánev je největší a nejvýznamnější podkrušnohorskou pánví. Rozkládá se mezi Doupovskými horami, Českým středohořím a Krušnými horami a je součástí oherského riftu (Pešek et al. 2010). Mocnost kenozoických sedimentů je až 700 m (Malkovský et al. 1985) a pokrývají plochu o rozloze 870 km² (Kvaček et al. 2004). Vznik podkrušnohorských pánví má více teorií. Podle Malkovského et al. (1985) pánve vznikly vyprázdněním magmatických krbů a následným poklesem nadloží jako v „poddolovaném“ území. Naopak Rajchl et al. (2009) uvádí, že příčinou vyplňování pánve byla tektonicky podmíněná extenze riftové zóny, která vedla ke vzniku depresí a hřbetů. Extenze se odehrávala ve dvou fázích. První probíhala od konce eocénu do začátku miocénu a je charakterizována extenzním směrem S–J až SSV–JJZ (zlomy směru ZJZ–VSV a Z–V). Během následující druhé fáze vznikly zlomy směru JZ–SV, které překrývají starší zlomový systém. Zlomy tohoto směru jsou dnes ve stavbě mostecké pánve dominujícími zlomovými prvky. Patří k nim zejména zlom litoměřický a krušnohorský, které pánev ohraničují. Podél krušnohorského zlomu došlo patrně během pliocénu a kvartéru k nápadnému výzdvihu Krušných hor (Malkovský et al. 1985); kvůli tomuto výzdvihu dnes sloj vybíhá po svahu Krušných hor a na vzdálenosti několika km překonává výškový rozdíl 200–500 m. V oligocénu docházelo podél centrálního riftového zlomu k výstupu fonolitových magmat (fonolitové vulkanity Českého středohoří). Podél okrajových zlomů (litoměřický zlom) docházelo k výstupu spíše bazaltických magmat (Malkovský et al. 1985). V podstatně menší míře probíhala vulkanická aktivita i ve spodním miocénu, během tvorby mosteckého souvrství, a to v sousedních Doupovských horách a v Českém středohoří (Cajz et al. 2009, Rapprich 2012).



Obr. 1. Mapa polohy mostecké pánve v ohřeckém riftu. Upraveno podle Rajchla et al. (2009)

Podloží mostecké pánve tvoří proterozoické ruly krušnohorského krystalinika, v teplické oblasti těleso paleoryolitu karbonského stáří a značná část podloží na Žatecku je tvořena permokarbonskými písčitojílovitými sedimenty. Na těchto horninách navíc na velkých plochách spočívají až dvoustetmetrové usazeniny křídového moře (slínovce a pískovce).

Kenozoická výplň mostecké pánve má stratigrafické rozpětí od středního eocénu do spodního miocénu a zahrnuje tři etapy vývoje, které jsou podrobněji popsány v následující kapitole.



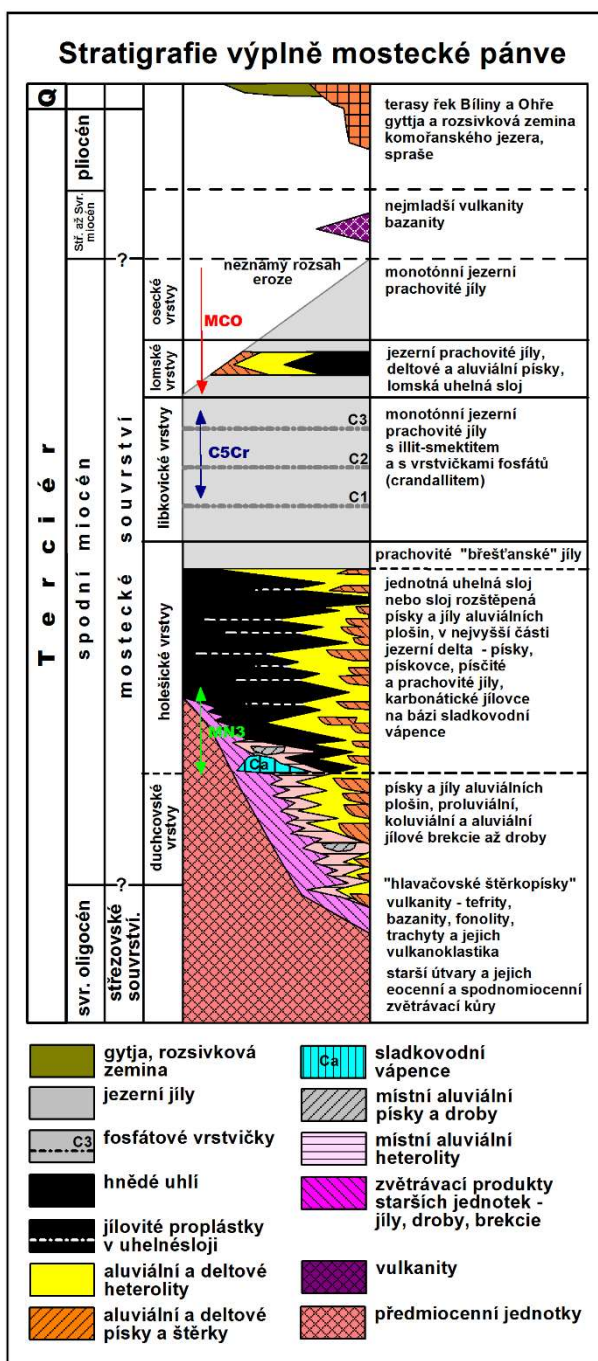
Obr. 2. Mapa mostecké pánve s vyznačenými polohami studovaných vrtů. K. Mach

2.1. Stratigrafie mostecké pánve

Vyplňování mostecké pánve zahrnuje tři samostatné etapy. Jednotlivé etapy stratigraficky odpovídají souvrství starosedelskému, střezovskému a mosteckému (Domáci 1975; Pešek et al. 2010).

2.1.1. Starosedelské souvrství

Sedimenty tohoto souvrství o mocnosti až 100 m se ukládaly v eocénu vesměs v nevelkých depresích na částečně zarovnaném pokřídovém povrchu (Pešek et al. 2010). Starosedelské souvrství je také nazýváno jako bazální souvrství a je reprezentováno denudačními, izolovanými reliktu fluvioakustrinních písků až křemenců (Malkovský et al. 1985) s vložkami pelitů. Na území mostecké pánve byla většina těchto sedimentů patrně erodována (Pešek et al. 2010). Plošně rozsáhlejší výskyty jsou však vázány pouze na Sokolovsko.



Obr. 3. Stratigrafické schéma výplně mostecké pánve. Mach 2016

2.1.2. Střezovské souvrství

Jednotka mocná až 150 m, dříve označovaná jako vulkanodetritické souvrství, je od starosedelského souvrství oddělena hiátem (Misař et al. 1983). Horniny střezovského souvrství, stáří priabon až rupel, se místy ukládaly na relikty klastik předchozí jednotky, většinou však nasedají na zvětralé sedimenty svrchní křídý nebo krystalinikum. V tomto období na povrch pronikala řada bazických vulkanických těles. Krátce po jejich navržení začala jejich poměrně rychlá eroze a chemické zvětrávání. Vznikaly pestré jílovité zvětraliny v podobě kaolinitických a monmorilonitických jílu (Pešek et al. 2010).

2.1.3. Mostecké souvrství

Souvrství, stáří svrchního oligocénu až spodního miocénu (chatt až burdigal), tvoří sedimenty a menší měrou vulkanoklastika o mocnosti více než 500 m. Souvrství reprezentují především písčité a jílovité sedimenty s uhelnými sloji (Pešek et al. 2010). Dělí se na duchcovské, holešické, libkovické a lomské vrstvy (Pešek et al. 2010).

Duchcovské vrstvy jsou litologicky nejpestřejší jednotkou mosteckého souvrství. K jejich sedimentaci dochází po odeznění hlavní vulkanické aktivity Českého středohoří a Doupovských hor (chatt – aquitan). V době tvorby duchcovských vrstev již existoval tok napájející pánev v oblasti Žatce (Mach 2010). Do tohoto toku se napojovaly další toky, tekoucí podél dnešních Krušných hor z oblasti Českého středohoří a Doupovských hor. Pánev byla odvodňována severním směrem, podobně jako ve spodní části následujících holešických vrstev (Mach 2010). Koncem ukládání duchcovských vrstev vzniklo duchcovsko – litvínovské jezero které v době největšího rozvoje mělo rozlohu okolo 100 km² a pokrývalo téměř celou v. část pánve mezi Ústím nad Labem a územím na z. až téměř k jezeřsko-ryzelskému hřbetu.

Holešické vrstvy jsou složitým a pestrým komplexem depozit. V období vzniku těchto vrstev pokrýval celou pánev rašelinotvorný močál, jehož vývoj závisel na přínosu klastik, stavu vodní hladiny, tektonické aktivitě a kompakci podložních vrstev (Mach 2010). Ve spodní části holešických vrstev byl paleogeografický záznam podobný sedimentaci duchcovských vrstev, s tím rozdílem, že zanikal význam místních toků, tekoucích např. z Českého středohoří (Mach 2010). Počátek sedimentace začal vyrovňáváním depresí a rozšiřováním močálu. Z hlediska rozšíření uhlotvorné sedimentace, dnes uhelné sloje, lze holešické vrstvy rozdělit na produktivní a neproduktivní vývoj (Pešek et al. 2010). Produktivní vývoj holešických vrstev představuje hlavní uhelná sloj, průměrně 20–30 m, maximálně až 70 m mocná. Neproduktivní vývoj tvoří až 200 m mocný komplex klastik. Oba vývoje odděluje přechodné území, ve kterém se střídají různě mocné polohy klastik a uhlí. Na jihu Mostecká a v širším okolí Bíliny, proniklo ve svrchní části holešických vrstev do mokřadu rameno žatecké řeky, které sem přinášelo zvýšené množství hrubšího materiálu jako na Žatecko (Pešek et al. 2010). Produktivní vývoj na JZ pánve o rozloze asi 200 km² zastupují jemnozrnná, místy až hrubozrnná klastika žatecké „delty“ (Pešek et al. 2010). Žatecká delta je téměř bezeslojné až slabě uhlonosné území, kam od spodní části holešických vrstev začala přitékat žatecká řeka. Z několika desítek tenkých uhelných poloh dosahuje vyšší kvality při stálější mocnosti okolo 1 m jen jediná slojka. Lze ji sledovat od Mostecká až po Pětipesko (Pešek et al. 2010).

Původně z okolí Břešťan u Bíliny je znám v bezprostředním nadloží písčitojilovitých sedimentů Bílinské delty uložený nepřilíš mocný komplex pelitů označovaný jako **břešťanské jíly** (Pešek et al. 2010). Tato vrstva byla pro svoje vlastnosti

kameninové suroviny těžena již v osmnáctém a devatenáctém století, a protože těžba probíhala ručně, stala se dlouhodobým zdrojem velkého množství rostlinných i živočišných fosilií (Kvaček et al. 2004). Břešťanské jíly mají ale větší rozšíření a představují jemné jíly místy se sideritovým „tmelem“, nacházející se na hranici mezi holešickými a libkovickými vrstvami (Matys Grygar et Mach 2013).

Libkovické vrstvy představují komplex jezerních sedimentů dokládajících zánik uhlotvorby na celé ploše pánve (Pešek et al. 2010; Mach 2010). Tento v nejhlubší části pánve cca 300 m mocný (<http://www.sdas.cz/posts/geologie.aspx>), převážně pelitický komplex obsahuje četné konkrece pelosideritů, které rozdělují libkovické vrstvy na spodní a svrchní část.

Lomské vrstvy vznikly krátce před ukončením sedimentace v okolí Lomu ve změlčeném jezeře, ve kterém se vytvořil rašelinotvorný močál. Jsou tvořeny souborem uhelnatých jílu a uhlí. V nadloží lomské sloje se nacházejí tzv. osecké vrstvy, které jsou zachovány pouze v nejhlubší části pánve a představují již jen denudační torzo původně rozsáhlejšího jezera (Malkovský et. al 1985). Přesné ukončení sedimentace není známo vzhledem k předpokládané denudaci až stovek metrů nadložních sedimentů (Hurník 1978).

2.2. Názory na vznik mostecké pánve

Názorů na vznik mostecké pánve existuje více. Níže jsou uvedeny nejznámější z nich.

2.2.1. Tafrogenní teorie (Kopecký 1990) – Podle této teorie je mostecká pánev součástí oherského riftu. Vulkanismus a neogenní sedimentaci pánve včetně mladé zlomové tektoniky zásadně ovlivnil oherský rift. V paleogénu byl přívodní drahou magmatu (na Bílinsku a Mostecku fonolitové erupce). Nejdůležitější zlomy vznikaly až v období zdvihů, koncem neogénu, případně v kvartéru. Významnější zlomy ovlivnily vznik a vývoj přímočarých nebo ostře lomených údolí. Při výzdvihu území oherského riftu se koncem neogénu vytvořila říční síť odvodňující zvedané pánevní oblasti. Intenzivnější zvedání riftového bloku podmínilo rozsáhlou erozi a vznik členitého reliéfu.

2.2.2. Vznik pánve vulkano–tektonickou subsidencí (Malkovský 1980, 1985)
– Pánev se vytvořila na území postiženém vyprázdněním magmatických krbů při sopečné

činnosti a následným propadáním nadloží vyprázdněných prostorů jako při poddolování území (Malkovský 1980; Malkovský et al. 1985). Teorie předpokládá pokles pánevní oblasti a vystupování ostatních území. Hlavní výstup Krušných hor je kladen do kvartéru. Současná hrást'ová pozice Českého středohoří mohla naopak vzniknout setrváním ve stejné výši a poklesem území pánve. Tento pochod v plastických sedimentech pánve, považovaný za bezzlomový, vede k redukci mocnosti a k tvorbě vrás v pánevním prostoru. Ukončení pánevní sedimentace bylo podmíněno zdvihy, které způsobily počínající denudaci, změny tvárnosti krajiny, vodní sítě aj.

2.2.3. Mostecká pánev jako velevrásová struktura (Hurník et Havlena 1982, 1984) – Podle této představy pánev vznikala převážně dlouhodobým poklesem oblasti, jako odezva na alpské vrásnění, a nakonec kvartérním výzdvihem a vznikem současných geomorfologických jednotek v podobě velevrásové struktury (Hurník et Havlena, 1984). Tento názor zpřesnil a doplnil původní představu Hurníka (1982), který interpretoval krušnohorský zlom jako střední rameno megaflexury. Autoři odhadují amplitudu velevrásy zhruba na 1 km a uvádějí, že ve středním rameni velevrásy dochází k drcení hornin krystalinika a ke kypření vrstev pánevních uloženin. Uvedenou interpretaci podporuje i názor Kopeckého (1972), který při hodnocení neotektoniky dospěl k závěru, že některé morfostruktury českého masivu, dříve považované za kerné, mají blíže ke strukturám vrásovým, popřípadě vrásovo–zlomovým.

2.2.4. Zlomový systém směru V–Z tzv. en-echelon zlomy (Rajchl et Uličný 2005) Při vzniku pánve se uplatňoval zlomový systém směru V–Z (VSV–ZJZ) reprezentovaný relativně krátkými zlomy uspořádanými en-echelon, oddělujícími hlavní depocentra mostecké pánve protažená ve v. – z. směru a rovněž uspořádaná en-echelon. Rajchl et Uličný (2005) na základě svého modelu ukazují, že v případě mostecké pánve se nejedná o jeden symetrický příkop, jak to předpokládal Kopecký (1990), ale o systém několika depocenter. Z modelu je patrné, že některá z těchto depocenter, konkrétně chomutovské a centrální, mají v řezu tvar asymetrického příkopu. Významným přínosem tohoto modelu je i prokázání pokračování bílinského zlomu směru SZ–JV západním směrem přes celou pánev až ke krušnohorskému okraji. Ten má rovněž nepravidelný průběh, jak to popisuje Váně (1987) z okolí Braňan a Bíliny.



3. Chemostratigrafie

Chemostratigrafie je metodický způsob charakterizace a korelace sedimentů s použitím jemných rozdílů v elementárním složení. Tato technika se opírá o skutečnost, že i zdánlivě litologicky homogenní usazeniny mohou vykazovat změny v chemickém složení v různých částech profilu. Tyto změny mohou odrážet drobné výkyvy ve zdrojových sedimentech, facie, paleoprostředí, paleoklimatu a diagenéze (www.chemostrat.com). V posledních letech je chemostratigrafie využívána především v sekvencích postrádajících faunu a flóru. (www.chemostrat.com). Chemostratigrafii lze aplikovat na sedimenty jakéhokoliv stáří, jakékoliv litologie a z jakéhokoli prostředí. Ještě důležitější je však, že může být aplikována na vzorek. Jako taková, je chemostratigrafie nyní univerzální stratigrafický nástroj. (www.chemostrat.com)

3.1. Chemostratigrafie v mostecké pánvi

Mnoho let probíhal mineralogický a geochemický výzkum sedimentů v mostecké pánvi (Elznic et al. 1998). Členění komplexu miocenních sedimentů mostecké pánve se opírá hlavně o geochemická a mineralogická kritéria. Tyto výzkumy v mostecké pánvi poskytly nové a závažné výsledky, které umožňují opravit některé dosavadní představy o geologické stavbě pánve, o jejím paleogeografickém vývoji a v menší míře také o litologii sedimentů.

Nejvýznamnější roli sehrál výzkum stopových prvků v pelitických sedimentech, doplněný určováním těžkých minerálů v psamitické části pánevního komplexu (Elznic et al. 1998). Bylo také přihlédnuto k dalším rozborům a analýzám hornin jako je tavitelnost popelovin uhlí, kde byly sledovány obsahy alkálií a jílových minerálů, silikátové analýzy popela a popelovin uhelné sloje apod. Při vyhodnocování těchto analýz autoři přihlíželi k údajům o obsahu TiO_2 , který jednoznačně ukazuje na přítomnost klastických příměsí, typických pro spodní komplex sedimentů. Na základě odlišného obsahu a složení těžkých minerálů v psamitech, spektra stopových prvků v pelitech i minerálního a chemického složení pelitů lze neogenní sedimenty mostecké pánve rozdělit do dvou celků, které Elznic et al. nazývali spodním (starším) a svrchním (mladším) komplexem (obr. 4).

litologický profil		rychlost sedimentace (mm/1 000 let)	stabilní těžké minerály v písčích	stopové prvky		minerální složení	chemické složení		poznámky
				koncentrace zvýšená	snížená		koncentrace zvýšená	snížená	
	svrchní (mladší) komplex	30–50	andalusit sillimanit disthen staurolit	Rb, Cs	Nb, Zr Cr	illit montmorillonit (kaolinit)	Si, Mg K	Fe, Ti Al	
	200–300								
	30–50								
	200–250								
	spodní (starší) komplex	30–50	disthen staurolit	Nb, Zr Cr	Rb, Cs	kaolinit #	Si, Al Fe, Ti	Mg, K	# v okolí Doupovských hor byly místy odnášeny do pánve neovulkanity s nižším stupněm zvětrání; v pětipeské části pánve pak ojediněle vznikaly i montmorillonitické jíly
	20–30								

Obr. 4. Rozdíly ve složení hornin spodního a svrchního komplexu podle Elznice et al. (1988)

Hranice mezi spodním (starším) a svrchním (mladším) komplexem lze rozeznat ve všech hlavních petrografických faciích pánevních sedimentů po celé rozloze pánve. Psamity obou komplexů se dají nejlépe odlišit podle rozdílného obsahu těžkých minerálů. Rozlišení pelitů obou komplexů je makroskopicky zřejmé pouze v místech, kde jsou od sebe oba komplexy odděleny sloji. V případě určení rozhraní mezi oběma komplexy uvnitř uhelné sloje ve východní polovině mostecké pánve se osvědčilo kombinovat výsledky silikátových analýz klastických příměsí (popelovin) v uhlí s obsahem stopových prvků v pelitických proplástech uhelné sloje, případně v polohách uhelných jílovců (Elznice et al. 1998).

Ve spodním komplexu výrazně převažují pelity, zatímco psamity se vyskytují zřídka. Vzhledem k mineralogickému složení a obsahu stopových prvků je lze charakterizovat jako usazeniny původem z místních zdrojů buď v těsném sousedství pánve, nebo z jejího dnešního území. To platí i v případě jednotné uhelné sloje, jejíž druhotné klastické příměsi (popeloviny) mají rovněž původ ve zvětralých horninách v těsném okolí nebo přímo na území pánve. Spektrum stopových prvků podložního komplexu je velice pestré, dané především jejich původem z neovulkanitů (Elznice et al. 1998).

Svrchní komplex zahrnuje sedimenty, jejichž materiál je převážně mimopánevního původu. V pelitických sedimentech se to projevuje jednak nápadným potlačením vulkanogenních prvků (Ti, Nb, Zr, Sr a Ba) a naopak zvýšeným obsahem K, Rb Cs a Mg. Výjimečností svrchního komplexu je podle Elznice et al. (1998) neobvyklá homogenita chemického složení, které se projevuje především ve stabilním obsahu Rb. Pozdější práce ale přeci jen v této zdánlivé homogenitě našly dostatek rysů, které tyto vrstvy dále rozčlenily. Pro polohy psamitů mladšího (svrchního) komplexu je typická přítomnost andalusitu, těžkého minerálu, který se v žádných současných geologických útvech a jednotkách na území pánve, ani v jejím okolí nevyskytuje.

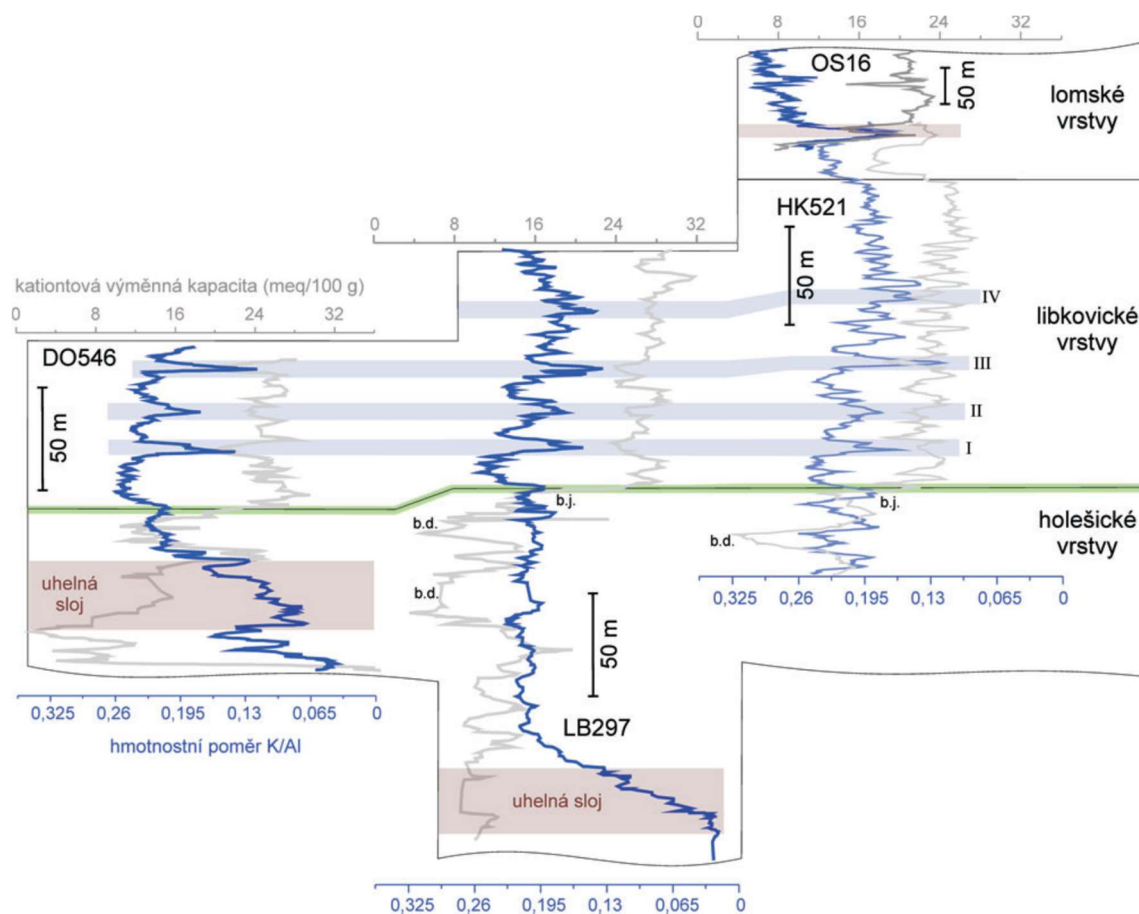
Předpokládá se, že tato změna v charakteru sedimentace byla způsobena přenesením zdrojových oblastí z okolí pánve do vzdálenějších oblastí v okrajových částech Českého masivu (Elznice et al. 1998).

Klastický materiál tvořící dnes uloženiny svrchního komplexu (včetně části uhelné sloje) byl na území mostecké pánve přinášén větším vodním tokem, jehož ústí leželo na Žatecku, s vedlejším přínosem (ramenem) poněkud východněji na Bílinsku, event. v okolí Mostu (Elznice et al. 1998). Tělesa klastického materiálu usazovaného v deltovém ústí na Bílinsku a na Žatecku, postupně progradovala od okrajů dále do pánve a vytvářela mocné a rozlehlé oblasti klastických sedimentů, zejména pak v žatecké „deltě“. Pobočná ramena deltových ústí pronikala do uhlotvorných prostředí jak na Chomutovsku a Pětipesku z žatecké delty, tak na Bílinsku a Mostecku z menší bílinské delty. Obě delty ve svrchním komplexu ovlivňovaly v dobách povodní rozsáhlá rašeliniště přínosem klastických příměsí (Elznice et al. 1998).

Na základě paleomagnetického výzkumu (Bucha et al. 1987) bylo navrženo datovat přenesení zdrojových oblastí do období středního eggenburgu (nejspodnější burdigal). Výsledky těchto prvních paleomagnetických analýz se ale později nepotvrdily a musely být zcela přehodnoceny (Matys Grygar et Mach 2014). Elznice et al. (1998) se na základě dostupných znalostí domníval, že na území mostecké pánve docházelo během neogénu k časté laterální migraci sedimentačních prostředí. Stěhování přisuzovali jak diferenciální subsidenci dílčích území pánve, tak vývoji sedimentace v deltách. Regionální změny v rozmístění jednotlivých sedimentačních prostředí je většinou možné charakterizovat jako pozvolné, i když čas od času docházelo k náhlým zánikům některých sedimentačních prostředí (Elznice et al. 1998). Názory Elznice et al. byly později opraveny Machem et al. (2014) a to především v tom smyslu, že rozhraní mezi spodním a svrchním

komplexem nelze považovat za izochronní a že jde pouze o rozhraní, které ukazuje v daném profilu a místě, kdy zde došlo ke změně zdrojové oblasti přínosu klastik. K této změně s ohledem na charakter fluviální aktivity lokálních toků a tzv. centrálního toku docházelo na různých místech pánve v jinou dobu, a proto je tato hranice výrazně heterochronní.

Mostecká pánev je cenným záznamem prostředí miocénu. Matys Grygar et Mach (2013) analyzovali více než 4000 vzorků ze svrchní části hlavní uhelné sloje a jejího nadloží z vrtů v předpolí dolů Libouš – Droužkovice, Bílina, Vršany – Hrabák a VČSA a také přímo ze stěn lomů. Na základě rtg-fluorescenční analýzy práškových vzorků a stanovení jejich kationtové výměnné kapacity s komplexem $[\text{Cu}(\text{trien})]^{2+}$ uvedení autoři zjistili, že geochemická data ukázala v mosteckém souvrství několik korelačně významných horizontů (obr. 3). Jejich polohy lze vztáhnout k existujícím stratigrafickým jednotkám navrženým Domácím (1975) a v návaznosti především na práce Elznice (1973) a Váněho (1987).



Obr. 5. Ukázka chemostratigrafie v jednom vrtu na Chomutovsku, jednom na Bilinsku ve dvou vrtech v oblasti Hrdlovky-Oseka podle Matyse Grygara et Macha (2013).

Pro faciálně pestré sedimenty zahrnující hlavní uhelnou sloj a její laterální ekvivalenty navrhl Domáci (1975) název holešické vrstvy. Klastické sedimenty holešických vrstev jsou vrstevnaté až laminované, bohaté na fosilie, s častým výskytem karbonátových konkrecí nebo souvislých vrstviček karbonatických jílovců až pelokarbonátů. Faciální pestrost je dána dynamickým fluviálním nebo mělkovodním jezerním prostředím v důsledku aktivity řady menších zlomů ve fázi časného vývoje riftu (Rajchl et al. 2009) a kompakce vrstev podložní rašeliny říčními sedimenty (Rajchl et Uličný 2005). Tato pestrost dosud ztěžovala korelaci svrchní části holešických vrstev. Strop sloje pro ni nevyhovuje, protože není ani v dílčích částech pánve izochronní (Mach et al. 2013) a navíc byl místy synsedimentárně deformován (Mach 2002). Prostorově rozrůzněný vývoj byl ukončen vznikem celopánevního jezera. V sedimentárním záznamu se to projevilo nástupem litologicky monotónních sedimentů rozlišitelných jednoznačnou změnou mineralogie jílové složky sedimentů. Prudké zvýšení obsahu expandabilních jílových minerálů bylo zjištěno ve všech analyzovaných hlubokých vrtech na Chomutovsku, Bílinsku a Mostecku i na výchozech této jednotky v uhelných lomech. Paleontologicky známá poloha břešťanských jílu (Kvaček et al. 2004) a jejich laterálních ekvivalentů má nízký obsah expandabilních jílových minerálů a obsahuje vrstvičky karbonatických jílovců, stejně jako sedimenty uložené v bílinské deltě. Na základě uvedených podobností se sedimenty bílinské delty Matys Grygar et Mach (2013) usuzují, že se břešťanské jíly uložily ještě v době před vznikem celopánevního jezera. Naproti tomu v monotónních masivních jílech v nadloží, označovaných Domácím (1975) jako libkovické vrstvy a uložené v celopánevním jezeře, převažuje jílová a prachová složka. Písčité polohy kromě oblasti jižně od střezovského zlomu, kde je ale stratigrafie nadloží uhelné sloje dosud nejasná, chybějí. Typická je absence laminace a vrstviček karbonatických jílovců a ojedinělost makrofosilií. Vysoký obsah expandabilních jílových minerálů v těchto vrstvách (obr. 3) se mimo jiné projevuje výrazným lupínkovým rozpadem jílu, odlišným od vrstevnatého rozpadu podložních holešických vrstev. Litologicky monotónní komplex libkovických vrstev je tak ideálním objektem pro využití chemostratigrafie. Pomocí této metody v nich byly Matysem Grygarem et Machem (2013) identifikovány tři vrstvičky obsahující crandallit (Al-Ca fosfát s významným obsahem Sr a Ba) v mocnosti 1–10 cm, které jsou důležité a dobře využitelné pro korelaci pro jejich často plošnou stálost. Vulkanogenní proplástky vznikají často spadem vulkanického popela do rašeliníště, kde tvoří plošně stálé vrstvičky vulkanoklastik (tzv. tonsteiny). Dále bylo pomocí chemostratigrafie identifikováno několik výrazných

horizontů se sníženým obsahem K v mocnosti 1–3 m a také několik výrazných horizontů se zvýšeným obsahem Sr v mocnosti 1–3 m. Tyto horizonty se podařilo korelovat z chomutovské části pánve až na Bílinsko na vzdálenost přes 30 km (Matys Grygar et Mach 2013). Matys Grygar et al. (2014) a Matys Grygar et al. (v tisku) podrobili variace obsahu K (poměru K/Al nebo K/Ti) frekvenční analýze, jejíž výsledky ukazují na záznam Milankovičových cyklů. Ověřením se stala především shoda s výsledky magnetostratigrafie, kterou autoři použili jako další z metod (Matys Grygar et al. 2014). Výsledkem je zjištění pravděpodobné průměrné sedimentační rychlosti libkovických vrstev v oblasti Hrdlovky v rozmezí od 16 do 20 cm/1000 let a upřesnění časové zařazení libkovických vrstev ve svrchního burdigalu, tedy mladšího období, než se domníval na základě nepotvrzených výsledků Bucha et al. (1987), Elznice et al. (1998) a Rajchl et al. (2009).

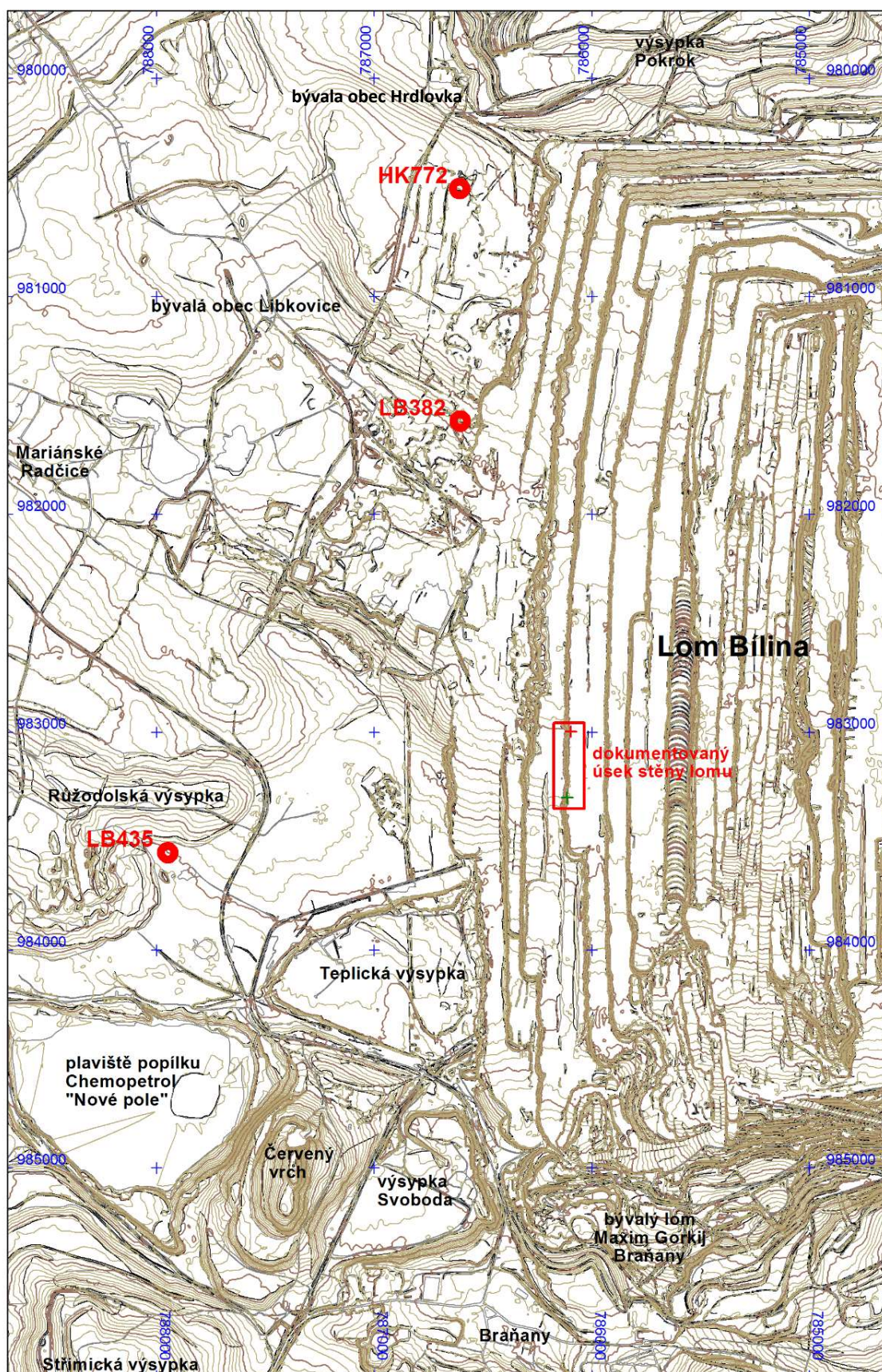
Nad monotónními, převážně šedými sedimenty libkovických vrstev zjistili Matys Grygar et Mach (2013) v oblasti Hrdlovky cca 20 m mocnou vrstvu zelenavých prachovitých jílů s nízkou kationtovou výměnnou kapacitou a zvýšeným obsahem sulfidů železa. Následuje uhelná sloj (jílovité uhlí nebo uhelnaté jíly lomské sloje) a nad nimi až 100 m mocná poloha bezstrukturních jezerních šedých jílů. Tyto sedimenty označil Domáci (1975) jako lomské vrstvy. Jako kritérium ke zpřesnění hranice libkovických a lomských vrstev se obdobně jako v případě rozhraní holešických a libkovických vrstev dnes nabízí změna charakteru sedimentu, provázená poklesem kationtové výměnné kapacity a poměru Al/Si, zachycené vrty v oblasti bývalé Hrdlovky (Matys Grygar et Mach 2013).

4. Metodika

Předmětem diplomové práce je detailní multimetodický výzkum břešťanských jíílů. Tento úsek se nachází na stropu holešických vrstev, pod bází libkovických vrstev. Multimetodický výzkum byl prováděn použitím následujících metod:

- Makroskopický popis vrtného jádra
- Elementární složení jíílů měřené ručním rentgen–fluorescenčním spektrometrem
- Mineralogické složení jíílů studované pomocí rentgenové difrakční analýzy
- Mikrotexturní analýza jíílů a intenzity bioturbace studovaná z výbrusů
- Cyklostratigrafická analýza břešťanských jíílů metodou frekvenční analýzy časových řad

Měření byla prováděna na čtyřech vrtech, které byly vyhloubeny a geochemicky zpracovány pro Severočeské doly a. s. v rámci geologického průzkumu předpolí lomů Bílina a Libouš. Tři vrty byly situovány v předpolí lomu Bílina (obr. 6) a čtvrtý vrt v prostoru lomu Libouš (obr. 7).



Obr. 6. Pozice vrtů v předpolí lomu Bilina. K. Mach.

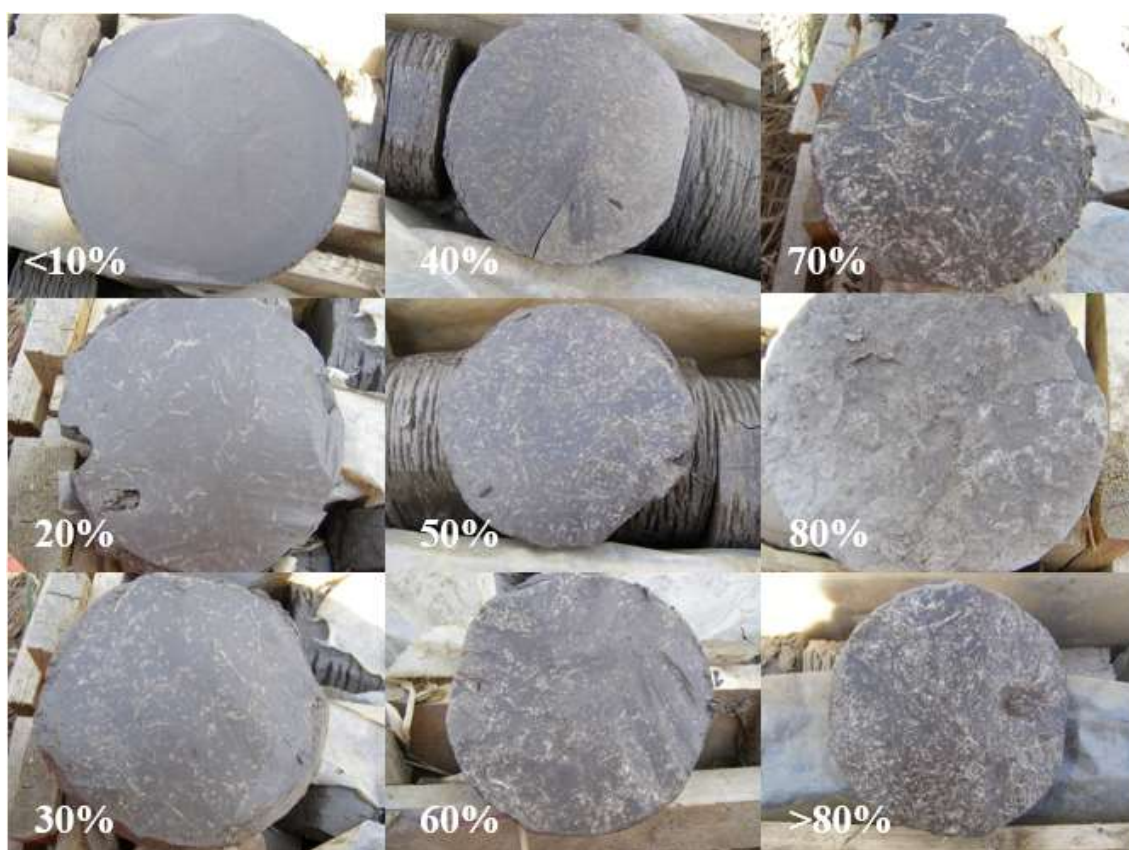


Obr. 7. Pozice vrtů v lomu Dolů Nástup Tušimice. K. Mach.

4.1. Metodika makroskopického popisu jílu vrtného jádra

Jelikož v těchto makroskopicky na pohled monotónních jílech studovaného intervalu nelze odlišit stratigraficky významné polohy (vše je makroskopicky homogenní), byla autorkou a Ing. Machem ze Severočeských dolů a.s. pro rozlišení dílčích poloh zvolena cesta popisu podle intenzity bioturbace.

Pro snadnější popisování intenzity bioturbace jílu ve vrtném profilu byl na počátku měření autorkou vyhotoven „vzorník“ s krokem po ~ 10 % (obr. 9.), kde jednotlivé hodnoty byly stanoveny odhadem. Tímto vzorníkem se autorka řídila při popisování vrtného jádra a také při odebírání vzorků na mikroskopickou a rentgenovou difrakční analýzu.



Obr. 8. Vzorník pro popis vrtného jádra dle obsahu bioturbace s krokem po ~ 10 %

4.2. Mikrotexturní analýza jílu a intenzity bioturbace

Vzorky odebrané pro rentgenovou difrakční analýzu byly autorkou studovány pomocí výbrusů polarizačním mikroskopem Nikon Eclipse LV100Pol. Toto studium

sloužilo ke zjištění sedimentárních textur a současně i k doplnění informací o charakteru bioturbací a ke zpřesnění vzorníku intenzity bioturbace.

4.3. Stanovení minerálního složení jílu pomocí rentgenové difrakční analýzy

Z vrtu LB 435 byly odebrány kusové vzorky jílu pro účely studia jejich minerálního složení metodou rentgenové difrakční analýzy. Vlastní analýza byla provedena rentgenovým difraktometrem X'pert Pro od firmy PANalytical na Přírodovědecké fakultě UK. Pro účely analýzy byly vzorky nejprve rozdrobeny a homogenizovány a následně naneseny na nízkopozadový nosič (křemenná nedifrakční podložka). K měření byla použita rentgenová lampa s měděnou anodou při napětí 40 kV a proudu 30 mA. Rozsah měření 3–50° 2 θ s krokem měření 0,05° θ . Načítací čas činil 200 sekund. Rentgenovou analýzu vzorků včetně vyhodnocení záznamu provedl Mgr. Viktor Goliáš, Ph.D z ÚGMNZ PřF UK v Praze.

4.4. Studium prvkového složení jílu

Měření obsahu prvků v jílech bylo prováděno přímo v terénu přenosným rentgen-fluorescenčním přístrojem NitonTM XL3t GOLDD+ firmy Thermo Fisher Scientific. Ruční analyzátor NitonTM XL3t GOLDD+ dosahuje parametrů laboratorního přístroje. XRF analyzátor má rentgenovou lampu o výkonu 50 kV. Výhody tohoto přístroje jsou v jednoduché obsluze a rychlé analýze přímo v terénu (www.hukos.cz).

Rentgenová lampa vysílá rentgenové záření na daný vzorek, z něhož se uvolňuje sekundární záření (tzv. fluorescence), to je analyzováno a jeho množství je přímo úměrné koncentraci daného prvku. Množství prvků je uváděno v ppm. Jelikož tento přístroj má zabudovaný standard pro recalibraci, není potřeba kalibrace získaných dat. Naměřené hodnoty byly zpracovávány v programu Microsoft Excell a graficky vyhodnoceny v programu GeProDo (Geologické Profily a Dokumentace) a AutoCad 2007.

Měření probíhalo na 3 vrtech v oblasti lomu Bílina. Konkrétně bylo zkoumáno jedno jádro vrtu HK772 z okolí bývalé obce Hrdlovka (obr. 5) a dva vrty (LB382, LB435) situované v oblasti bývalé obce Libkovice (obr. 5). Další, čtvrtý studovaný vrt s označením SP312, se nacházel ve východním předpolí Dolů Nástup – Tušimice v katastru obce Spořice (obr. 6). Vrtová jádra byla měřena v pravidelném intervalu po 10

cm (obr. 7). Tato hustota měření byla zvolena z důvodu postihnutí všech případných sedimentárních cyklů. Na základě výsledků z vrtů (lom Bílina a DNT) byly v terénu odebrány kusové vzorky břešťanských jíílů, které byly určeny opět pro proxy analýzy.



Obr. 9. Měření přístrojem XL3t GOLDD+ na lokalitě lomu Bílina. Foto: Ing. Karel Mach, 2015

Sledované prvky a prvkové poměry

V této studii byly sledovány především takové prvky, které mají význam v paleogeografii. Níže uvedené prvky jsou osvědčené z předchozích studií Elznice et al. (1998) a Matyse Grygara et Macha (2013 a, b).

Sledované prvky:

Fe – železo je obsaženo v sideritu, kterým jsou částečně vyplněny tzv. „chodbičky“ bioturbací. Koncentrace Fe zvolna roste směrem do nadloží, což je systematický jev pro celou pánev. Zpočátku bylo jezero průtočné a část Fe se odplavovala mimo pánev.

Později, kdy se voda v jezeře ustálila, začínají být sedimenty železem obohacené (Matys Grygar et Mach 2014).

Sr – stroncium je chemogenní složkou sedimentu, je obsaženo v crandallitu což je Ca-Al fosfát se zvýšeným obsahem Sr a Ba.

K – je obsažen hlavně v illitu. Je to ale rovněž biogenní prvek, jehož obsah mohl být pozměněn rašelinotvornou vegetací.

Al – je obsažen ve všech jílových minerálech, zejména v kaolinitu, který převažuje v klastikách původem z blízkého okolí pánve.

Si – je obsažen v křemenném prachu (případně hrubší frakci) a jeho obsah roste s hrubozrnnější složkou sedimentů, i když jílové minerály také obsahují podstatně množství Si.

Ti – svým původem odpovídá zvětralému vulkanogennímu materiálu, který mohl být do pánve dopraven jak vzdušným transportem (vulkanický spad tefry), tak vodními toky a drobnými splachy. Titan se jako jeden z mála sledovaných prvků chová jako nemobilní prvek. (Novotný 2013)

Sledované prvkové poměry:

K/Al – vyšší hodnoty K/Al poměru jsou vázány na sedimenty tvořeny klastiky dopravené do pánve „žateckou řekou“. Menší variace K/Al poměru mohou být způsobeny změnou intenzity chemického zvětrávání (změna klimatických podmínek), při kterém je K mobilnější než Al (Novotný 2013).

Al/Si – vyšší hodnoty Al/ Si poměru jsou proto typické pro polohy bohaté jílovými minerály, především kaolinitem. Nižší hodnoty poměru vykazují písčitéjší sedimenty fluvialních systémů žatecké a bílinské delty (vyšší obsah Si). Tento poměr tedy indikuje vztah mezi jílovitou a písčitou frakcí v sedimentu (Novotný 2013).

K/Ti – je nejslibnější proxy parametr charakterizující sedimentární prostředí v jezerních sedimentech mostecké pánve, neboť je podle předchozích výzkumů citlivý na cykly precese a výstřednosti a jejich amplitudy modulace (Matys Grygar et al. 2014). Koncentraci K v klastických sedimentech mohou ovlivňovat tři možné faktory, a to rozdílná velikost zrn, změny v intenzitě průtoku vod v povodí, a původ přinášených klastik.

4.5.Frekvenční analýza

Pro další zkoumání břešťanských jílu byla použita cyklostratigrafická metoda frekvenční analýzy naměřených obsahů prvků. Jejím cílem bylo nalézt v číselných řadách chemického složení sedimentů studovaného intervalu možný záznam vlivu Milankovičových cyklů odpovídající buď změnám parametrů oběžné dráhy Země kolem Slunce (excentricita) anebo sklonu rotace Země proti rovině ekliptiky (Vesmír 74, 488, 1195/9). Tyto změny způsobují cyklické odchylky v oslunění (insolaci) Země v různých zeměpisných šířkách během různých částí roku, tedy změny klimatu. V dostatečně dlouhém sedimentárním záznamu se tyto klimatické změny mohou projevit např. jako změny složení sedimentu. Milankovičovy cykly se počítají se stále vyšší přesností a dále do geologické minulosti a dnes jsou mocným a spolehlivým nástrojem pro popis stratigrafie především mořských a jezerních sedimentů (Matys Grygar et Mach 2014).

Frekvenční analýza probíhala pomocí metod analýz časových řad (MTM), což je rozklad časové řady na frekvence (cykly/metr). Princip metody MTM spočívá ve snaze vyjádřit časovou řadu pomocí harmonických složek. Úskalím uvedené metody je to, že nedokáže rozlišit situace, kdy se v časové řadě vyskytne jedno maximum odpovídající neperiodické sedimentární události. Proto se tato analýza kombinuje s analýzou přítomnosti harmonických složek tzv. F-test, který se snaží vyjádřit pravděpodobnost, že testovaná maxima zároveň odpovídají nějaké periodické složce. Mgr. Jiří Laurin PhD., který prováděl frekvenční analýzu, pracoval s pravděpodobností přítomnosti harmonického šumu (F-test) 98 %. Další metoda používaná k frekvenční analýze je metoda EHA, která používá stejný typ analýzy, ale vždy jen v malé a pohyblivé části časové řady. Metodou EHA se dají rozeznat změny sedimentačních rychlostí – promíchání frekvencí, jelikož frekvence jsou vztažené k hloubce. Další metodou je metoda ASM. Metoda ASM se snaží vyhodnotit, do jaké míry se poměry naměřených frekvencí podle reálného rozsahu sedimentačních rychlostí shodují s teoretickými poměry astronomických signálů rychlostí (J. Laurin 2017, ústní sdělení).

5. Výsledky

5.1. Petrografický popis břest'anských jílu

Makroskopický popis jílu byl proveden na vrtných jádrech v lomech Bílina a Doly Nástup Tušimice. Mikroskopický popis je založen na výbrusech ze vzorků odebraných podle intenzity bioturbace.

5.1.1. Makroskopický popis

Autorkou studovaný úsek jsou litologicky monotónní sedimenty jílové zrnitosti, světle šedé až tmavě hnědošedé barvy, obvykle velmi nevýrazně laminované až masivní. Hornina se štípe po vrstvách. Barva sedimentů se liší podle vlhkosti sedimentů, ve vlhkém stavu jsou sedimenty tmavě šedé až černé, po zvětrání je barva sedimentů světle šedá.

Studovaná část vrstevního sledu je postižena monotónní bioturbací. Jedná se o úzké (0,7–1,5 mm), nepravidelně se větvící, přímé nebo mírně zakřivené, zhruba válcovité chodbičky, jejichž průměr v rámci jedince není konstantní. Bioturbace typicky postihuje 10–30 % hmoty horniny (Mikuláš 1996). Původce bioturbace je v našem případě neznámý. Chodbičky považuje Mikuláš (1996) za domichnia (doupata) spíše než potravní stopy a řadí je k taxonu *Planolites montanus*.

Ve vrtném jádře byly pozorovány polohy karbonátu (siderit), které vyplňují chodbičky nebo cementují výplň chodbiček. Pokud je sediment intenzivně bioturbován, karbonát (pelokarbonát) může tvořit až souvislou polohu a sediment se tím stává pevnější. Na vrstevních plochách byl místy pozorován zuhelnatělý rostlinný detrit o průměrné velikosti cca 2 mm. Jeho podíl se pohyboval v rozmezí 0,5 – 2 %. Ojedinele se vyskytovaly zuhelnatělé zbytky rostlin o velikosti několika centimetrů, např. pěticentimetrová větvička opadavého jehličnanu *Taxodium* ve vrtu HK772 v hloubkové úrovni 250,7 m.

5.1.2. Mikroskopický popis

Vzorky byly sledovány v řezech kolmo na vrstevnatost. Hornina má v tomto řezu jemnozrnnou matrix (světlý odstín). Jíly jsou velmi slabě laminované až masivní. Sediment je bez výrazné vrstevnatosti. Odlišují se intenzitou bioturbace. Na snímcích mají bioturbované partie vyplněné sideritem nebo organickou hmotou tmavý odstín.

Chodbičky bioturbace jsou různé velikosti (0,7 – 1,5 mm) a bez přednostní orientace. Dále jsou ve vzorku jemně rozptýlená drobná zrnka křemene (o velikosti v řádech X-X0 μm). Ve vzorku se ojediněle nacházejí vyrostlice křemene a sádrovce. Sádrovec ve vzorku SO – BI2 je diageneticky sideritizován a má typický tvar v podobě vlaštovčího ocasu (příloha č. 6). U vzorku SO – BI6 je znatelné, že tento úsek je diageneticky více zvrásněný, nejspíš po krystalizaci karbonátů (příloha 8. obr. 7). Je více tektonicky porušený, více stlačený, nejspíše komprimovaný. Proto je zde předpokládána deformace.



Obr. 10. Mikrofotografie studovaných vzorků s ~ desetiprocentní bioturbací (tmavé jsou výplně bioturbací, světlé původní hornina).



Obr. 11. Mikrofotografie studovaných vzorků s ~ osmdesátiprocentní bioturbací (tmavé jsou výplně bioturbací, světlé původní hornina).

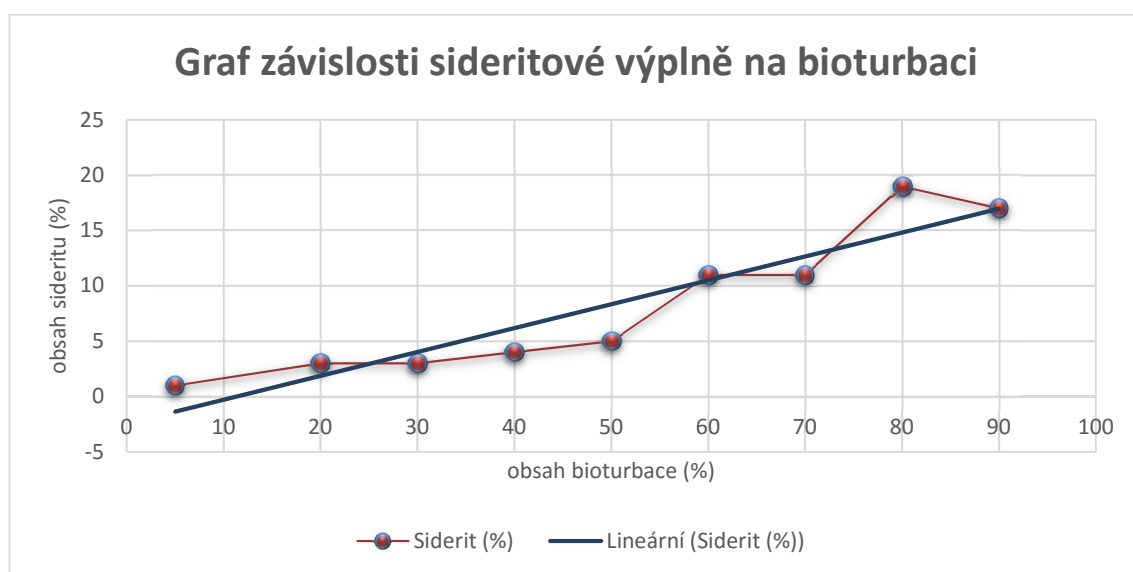
5.2. Rentgenová analýza vzorků jílu

Semikvantitativní analýza vzorků z vrtu LB435 metodou rentgenové difrakce (tab.1, příloha 7) ukázala majoritní zastoupení jílových minerálů (montmorillonit a kaolinit, illit – dle XRD muskovit), křemene a sideritu. Jelikož břešťanské jíly již podle poznatků Matyše Grygara et Macha (2014) neobsahují expandabilní minerály (montmorillonit, illit-smektit), leží hranice mezi břešťanskými jíly a libkovickými vrstvami. ve vrtu LB435 v hloubkovém intervalu mezi 110,8 a 114,25 m. Obsah kaolinitu se pohybuje v rozmezí 11–24 % a není závislý na intenzitě bioturbace, stejně jako u obsahu křemene, který se pohybuje v rozmezí 33–57 %. Obsah sideritu narůstá přímo úměrně s obsahem bioturbace od 1 do 19 %.

Název vzorku	Metráž	Obsah bioturbace (%)	Křemen (%)	Anatas (%)	Montmorillonit (%)	Kaolinit (%)	Siderit (%)	Muscovit - Hydromuskovit (%)	Gibbsit (%)	Albit (%)	Kalcit (%)	Stratigrafie
LB435	108,45	<10	33	2	37	11	1	12	5	-	-	Libkovické v.
LB435	110,00	40	35	2	34	12	4	13	-	-	-	Libkovické v.
LB435	110,15	30	35	2	28	14	3	11	6	-	-	Libkovické v.
LB435	110,35	20	35	2	28	14	3	11	6	-	-	Libkovické v.
LB435	110,80	70	42	1	22	14	11	11	-	-	-	Libkovické v.
LB435	114,25	>80	46	1	-	15	17	17	-	3	-	Břešťanské j.
LB435	114,50	50	57	1	-	19	5	13	-	3	-	Břešťanské j.
LB435	115,80	80	42	1	-	17	19	17	-	4	1	Břešťanské j.
LB435	120,30	60	51	2	-	24	11	13	-	-	-	Břešťanské j.

Tab. 1. Semikvantitativní hodnocení (v %) mineralogického složení odebraných vzorků z vrtu LB 435 v lomu Bílina

Obsah minerálů není kromě sideritu závislý na obsahu bioturbace. Na obr. 17 je zobrazena přímo úměrná závislost obsahu sideritu na bioturbaci.



Obr. 12. Graf závislosti sideritové výplně nebo cementace na intenzitě bioturbace

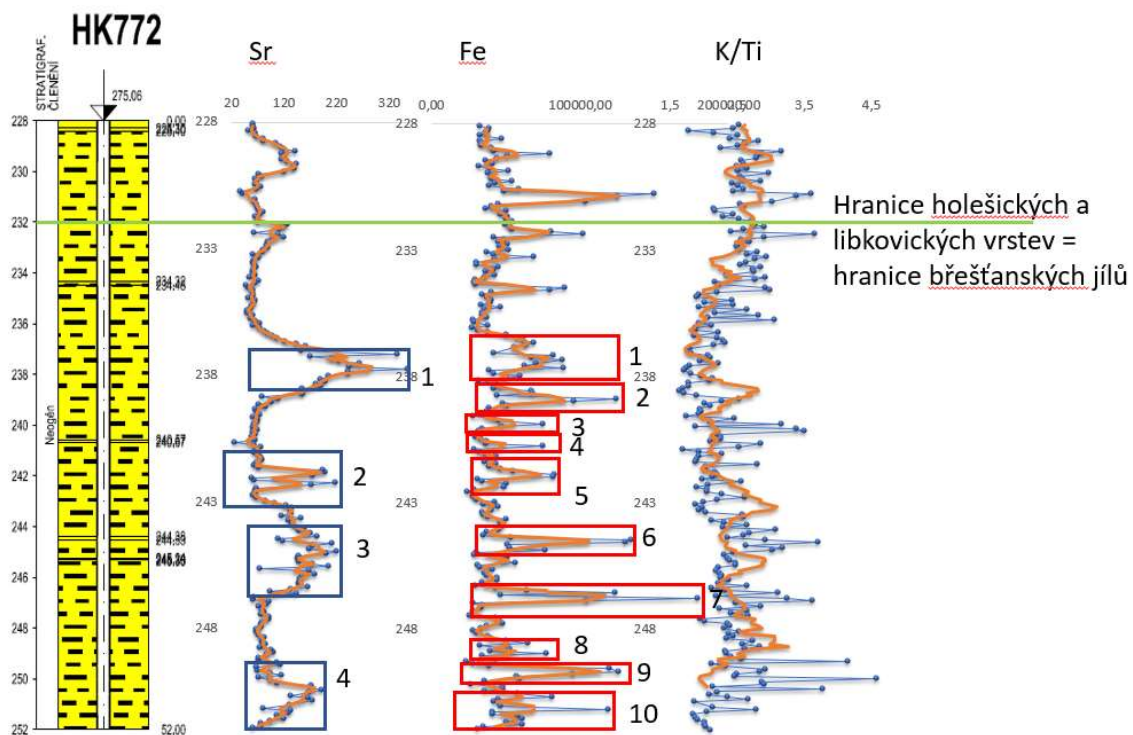
5.3. Studium mineralogického a prvkového složení sedimentů

Autorka sledovala zejména obsahy Fe, Sr, K, Ti a jejich poměry. Obsah Fe je závislý, jak již bylo prokázáno v kap. 5.2, na obsahu sideritu, který vyplňuje nebo cementuje průlezy bioturbace. Dalším korelačně významným prvkem je stroncium. Variace v obsahu Sr jsou tak výrazné, že normalizace pro tento prvek není potřeba. V břestánských jílech se maximální obsahy Sr (150-400 ppm) koncentrují do poloh o mocnosti 2–3 m (obr. 24). Změny v koncentracích tohoto prvku ve studovaných sedimentech umožňují korelace sousedních vrtů. Nicméně není vždy možné korelovat všechny vlastnosti vrtů mezi Libouší a Bílinou z důvodu velké vzdálenosti mezi vrty. Významnými korelačně významnými prvky jsou i K a Ti a jejich poměr, který citlivě odráží změnu sedimentu (poměry různých jílových minerálů a křemenného prachu) přinášného do jezera. Klimatické změny v povodí jezera mohou složení materiálu přinesného do jezera nesporně ovlivňovat prostřednictvím změn v procesu větrání a eroze hornin (Matys Grygar et Mach 2013 a, b; 2014; v tisku).

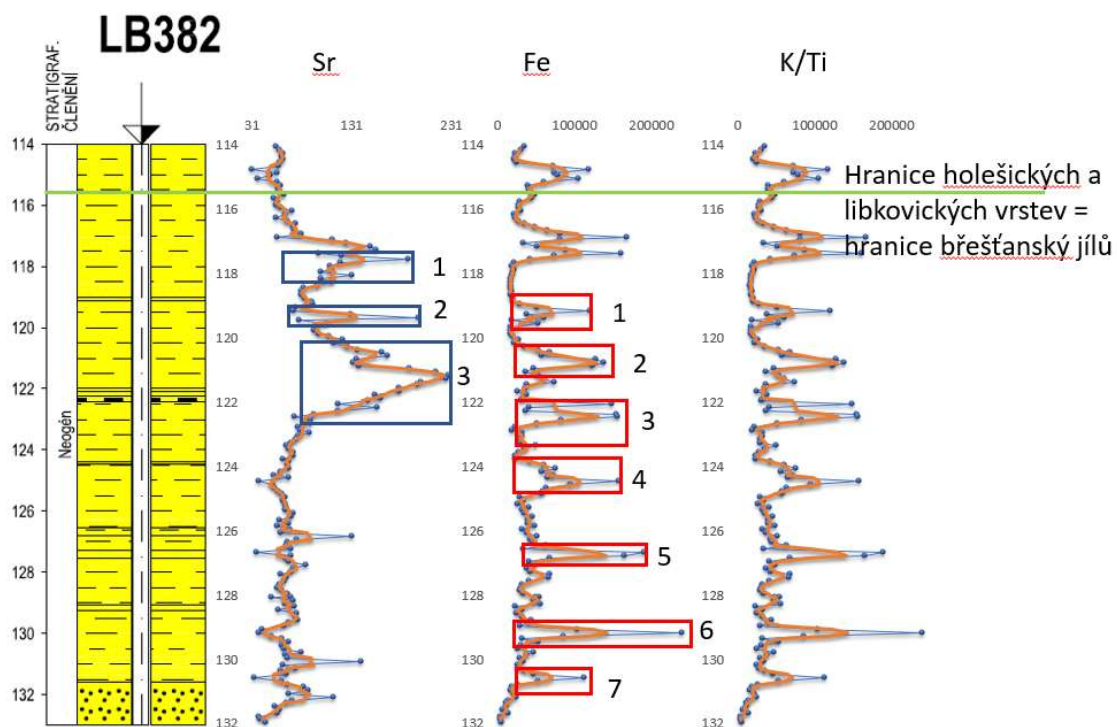
Jelikož dva vrty, a to LB435 a LB382, se nacházejí v ose přínosu bílinské delty a byly v dosahu proměnlivějšího prostředí, korelace sideritových vrstviček mezi těmito vrty se ukázala problematická, z důvodu plošné nesouvislosti vrstev (dobře zde však funguje nezávislá korelace pomocí obsahu stroncia). Pro korelaci pomocí obsahu Fe byly

proto použity vrty HK772 a SP312, které se nacházejí ve větší vzdálenosti od nestabilního deltového prostředí.

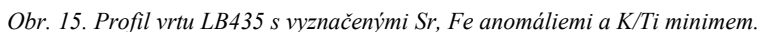
Lom Bílina



Obr. 13. Profil vrtu HK772 s vyznačenými Sr, Fe anomáliemi a K/Ti minimem.

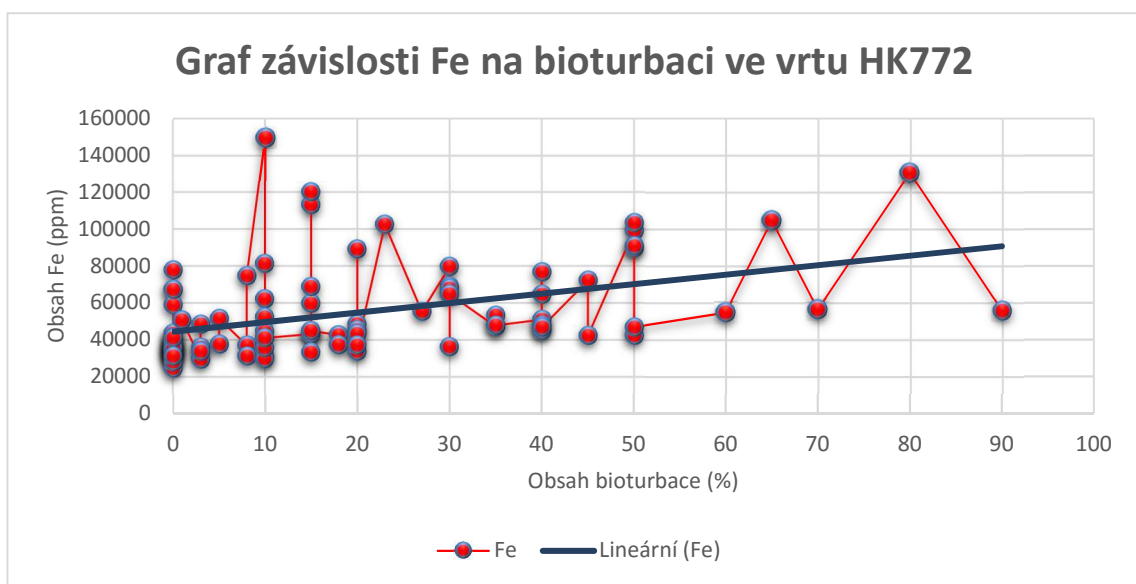


Obr. 14. Profil vrtu LB382 s vyznačenými Sr, Fe anomáliemi a K/Ti minimem.

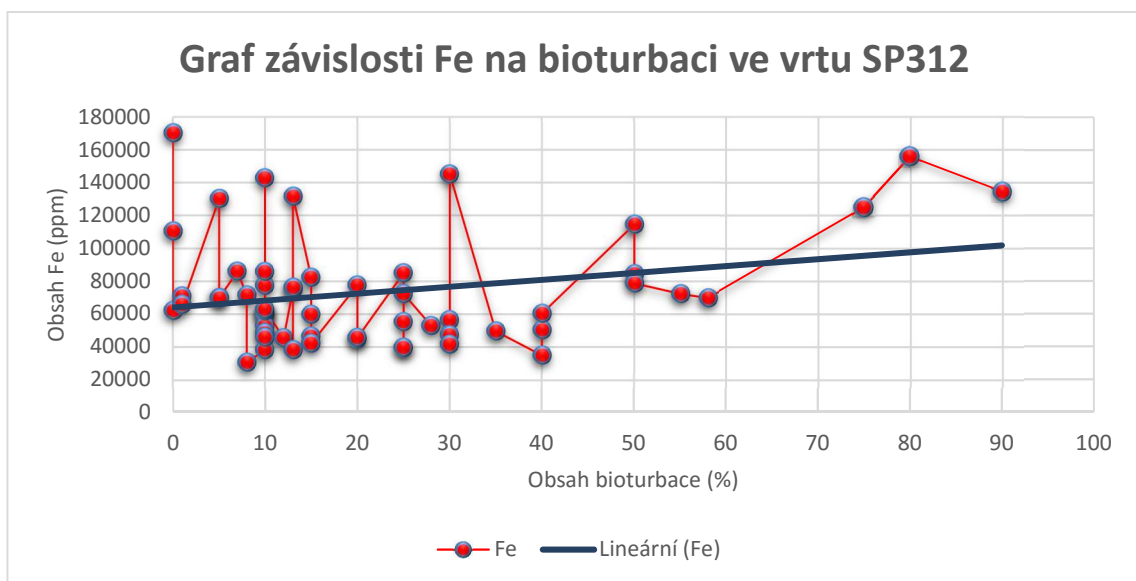


Obr. 16. Profil vrtu SP312 s vyznačenými Sr, Fe anomáliemi a K/Ti minimem.

Metoda korelace vrtů

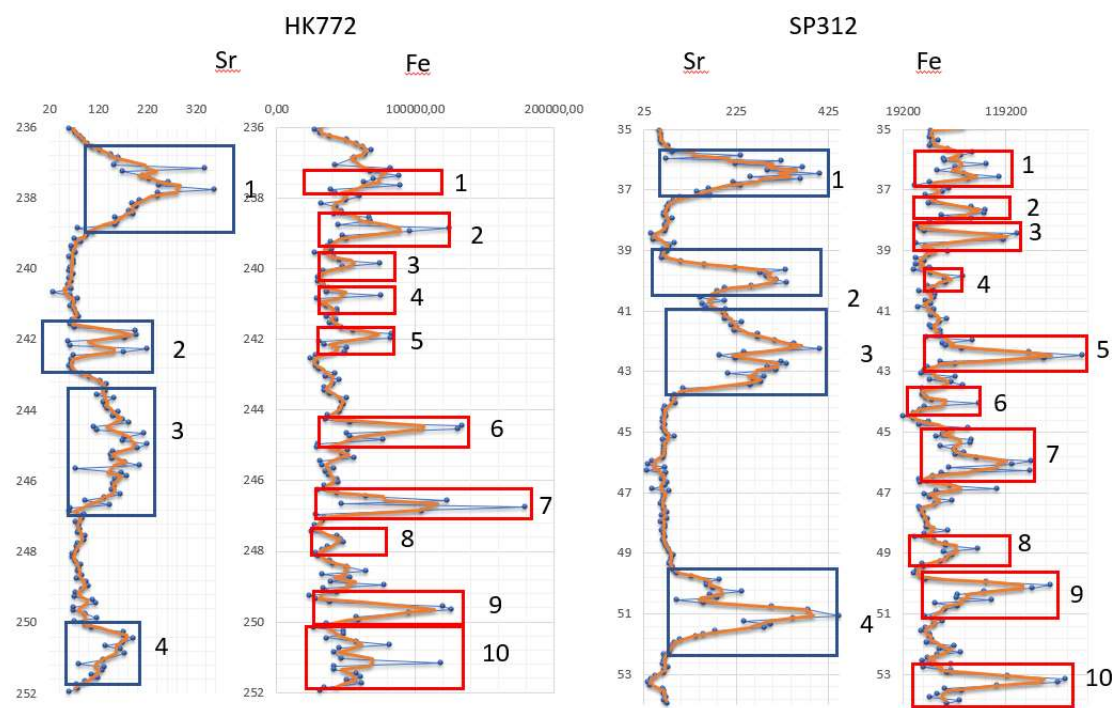


Obr. 17. Vazba intenzity bioturbace (*Planolites montanus*) na obsah železa ve vrtu HK772.



Obr. 18. Vazba intenzity bioturbace (*Planolites montanus*) na obsah železa ve vrtu SP312.

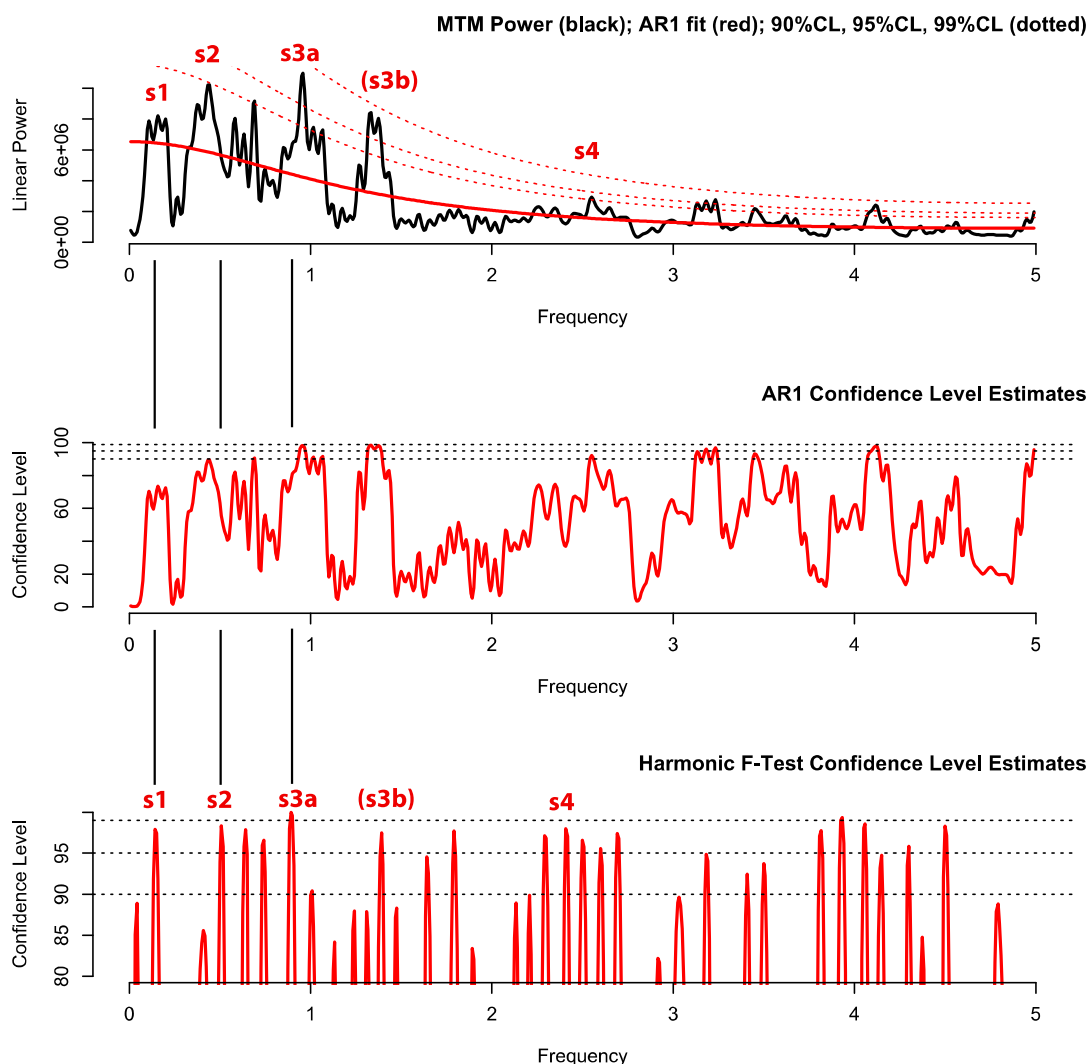
Na obrázcích 17. a 18. je zobrazena lineární regrese železa v závislosti na bioturbaci. Tato regrese je důkazem, že hlavním nositelem Fe v jílových sedimentech je siderit (obr. 17), který vyplňuje chodbičky bioturbací.



Obr. 19. Korelace vrtů HK772 (Hrdlovka) a SP312 (Spořice) pomocí obsahu Sr a Fe.

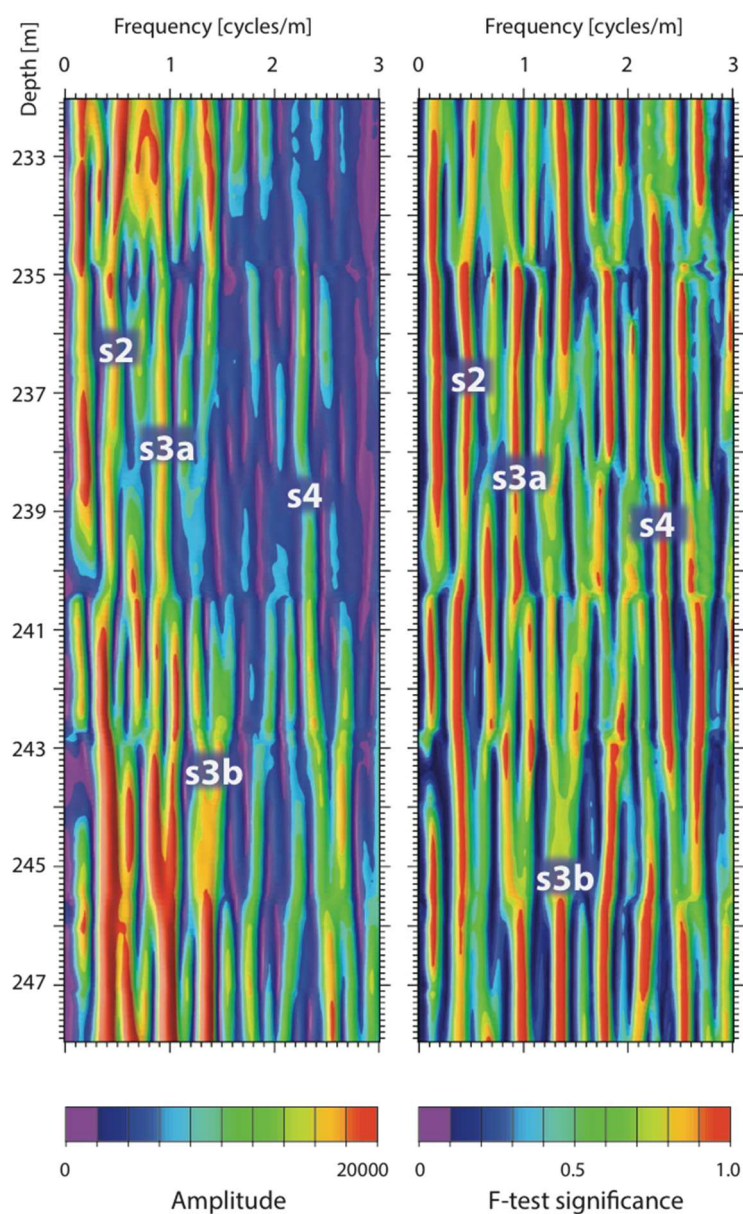
5.4. Frekvenční analýza břest'anských jíílů

Frekvenční analýza byla provedena pomocí koncentrací železa a stroncia ve vrtu HK772 a koncentracích železa ve vrtu SP312.



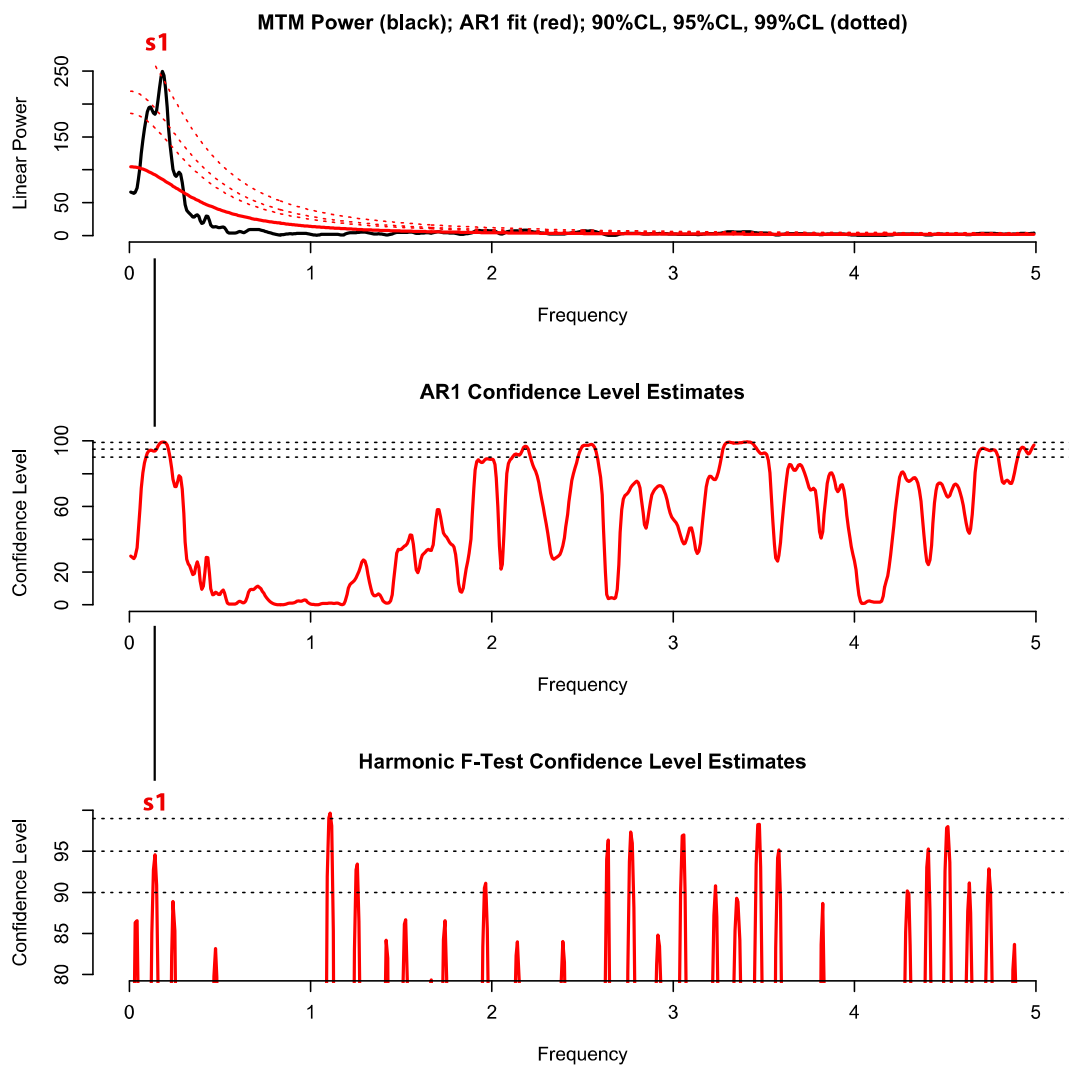
Obr. 20. Vrt HK772, koncentrace Fe, spektrální rozbor pro celou řadu s využitím metody MTM.

Na obr. 20. jsou zvýrazněny frekvence s F-testem přes 0,98 (98%), které představují potenciální astronomický signál. S3b má vysokou odezvu ve výkonovém spektru, ale nižší F-test, proto je v závorce a nevyhodnocuje se v metodě ASM na Obr. 23. Výsledky jsou ukázány až k tzv. Nyquistově frekvenci (v tomto případě 5 cyklů/m), která představuje nejvyšší frekvenci, kterou lze při daném vzorkovacím kroku (0.1 m) rozlišit.



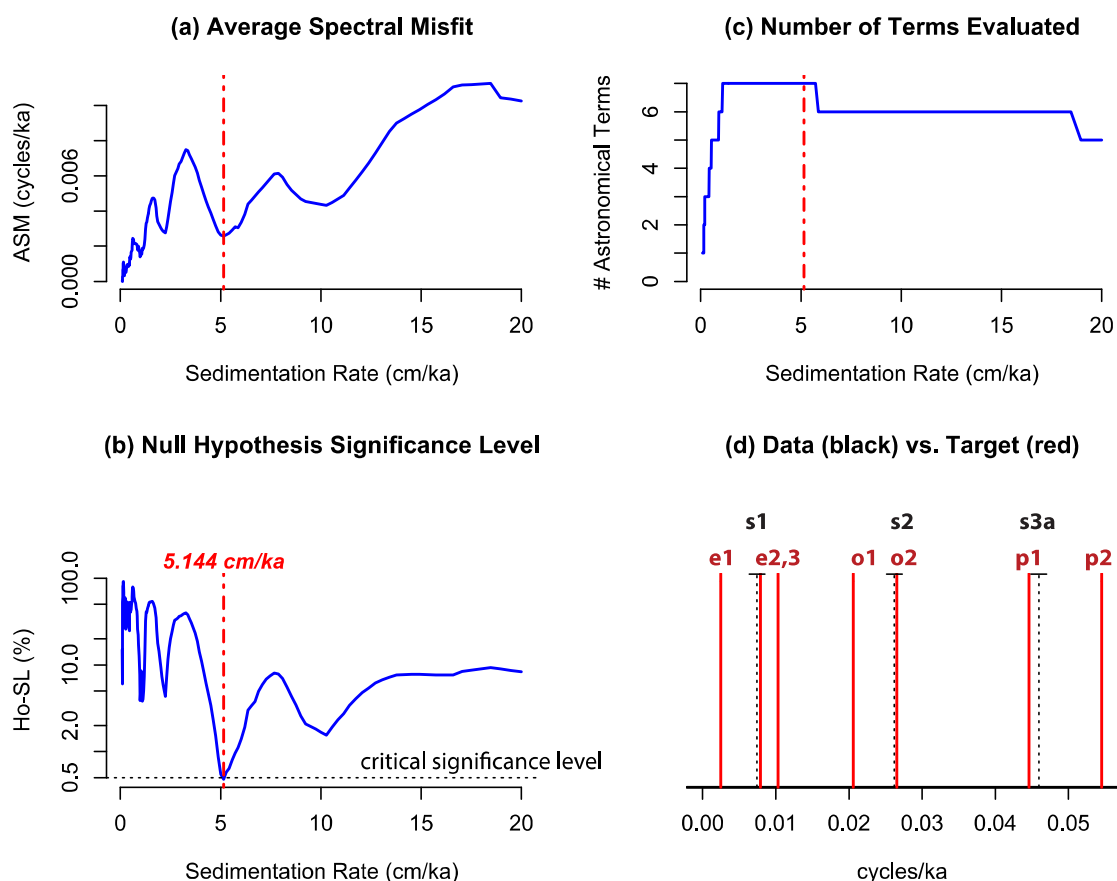
Obr. 21. Vrt HK772, rozsah hloubek jako na Obr. P1, koncentrace Fe. Hledání frekvencí s využitím pohyblivého okna o velikosti 8 m (time-frequency analysis; EHA).

Na obr. 21. je zobrazena vlevo amplituda, vpravo pravděpodobnost přítomnosti harmonické složky (F-test). Potenciální astronomické signály jsou označeny s1 – s4; ve spektru je hodně tzv. „šumu“. Velikost okna je optimalizovaná pro sledování změn ve frekvenci signálu s2. Časová řada je ale příliš krátká na spolehlivé závěry.



Obr. 22. Vrt HK772, rozsah hloubek jako na Obr. P1, koncentrace Sr.

Na obr. 22. u koncentrací Sr z vrtu HK772 je prokazatelný jen signál s1. Pro Sr tedy není možné použít metodu ASM, který vyžaduje identifikaci více cyklů.



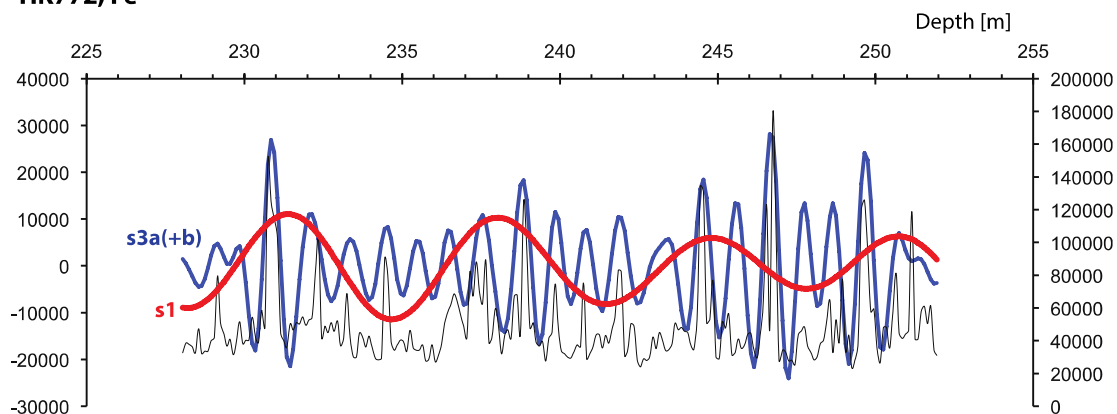
Obr. 23. Vrt HK772, koncentrace Fe.

Výsledky simulace, která testuje pravděpodobnost, že určitá kombinace frekvencí vznikla náhodně a neodpovídá kombinaci frekvencí astronomických cyklů (ASM, viz citace). je na obr. 23. Testují se frekvence, které v F-testu na obr. 21 dosáhly min. 0,98 (98%). Výsledek naznačuje, že pro sedimentační rychlosti kolem 5.1 cm/kyr lze nulovou hypotézu zamítnout (kritická hladina je tečkovaně), tj. lze zamítnout možnost, že tyto frekvence neodpovídají astronomickým frekvencím. Podle této simulace je s1 záznamem krátké excentricity (e2,3), s2 náklonu (o2), s3a precese (p1), a s4 je harmonický šum od precesního signálu (existuje i semiprecesní cyklus oslunění, který se prokazatelně uplatňuje v tropických oblastech). S3b by hypoteticky mohla být precesní složka p2, ale na to má moc vysokou frekvenci.

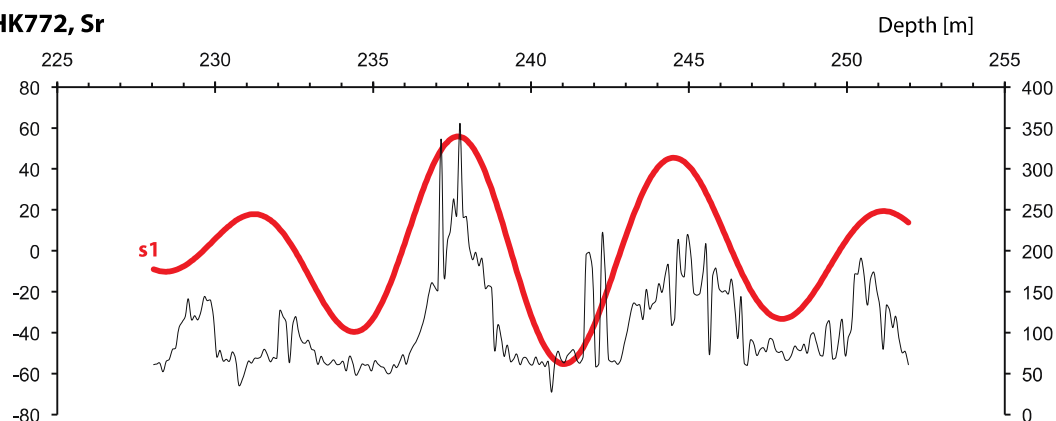
Podobné výsledky dostaneme, když časovou řadu rozdělíme na dvě části (jako test kontinuity signálu). Celkově jsou ale výsledky nestabilní. Jen drobná změna hladiny významnosti v F-testu (např. z 98% na 97%) má za následek, že se výsledek metody ASM výrazně mění (obr. 25). Výsledky jsou nezávislé na jiných odhadech sedimentačních rychlostí např. ze zjištění změn magnetické polarity. Porovnáním s nimi lze tedy najít

nejrozumnější řešení. Pokud je astronomický signál vůbec přítomen, je hodně deformovaný.

HK772, Fe

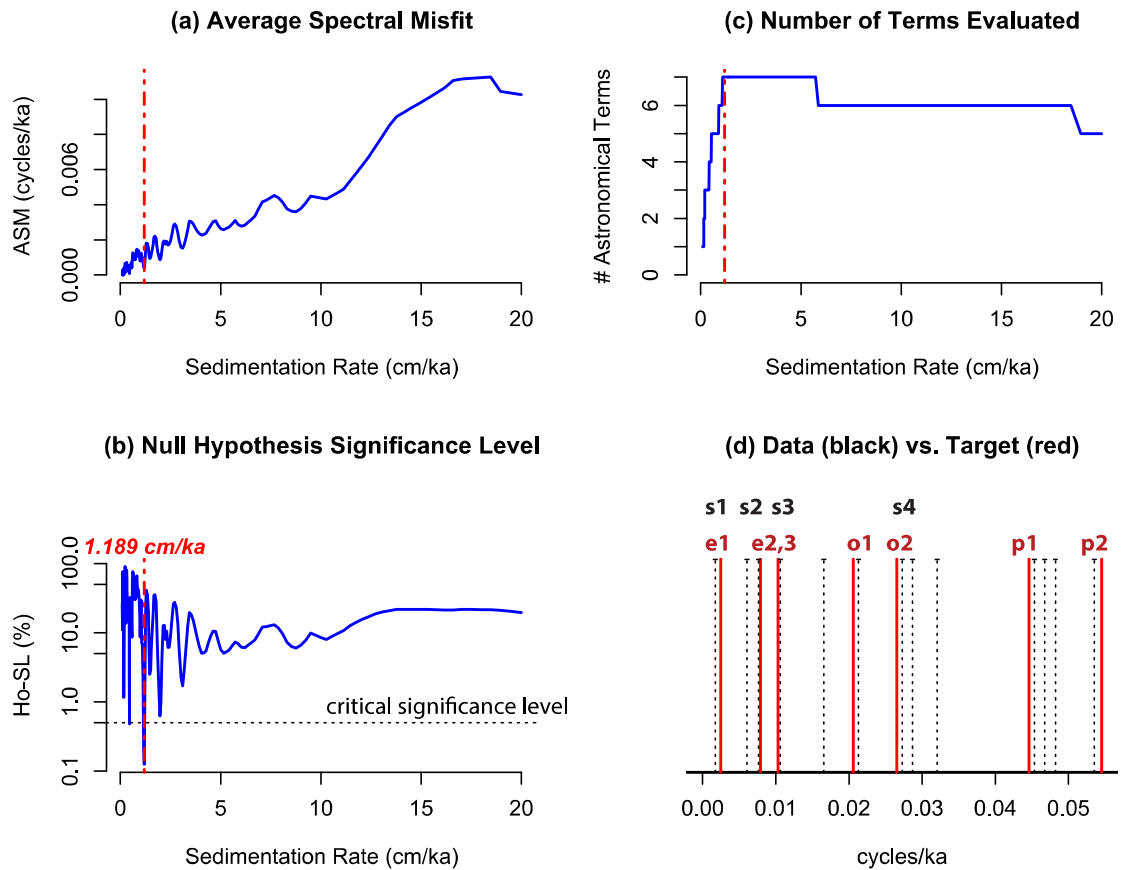


HK772, Sr



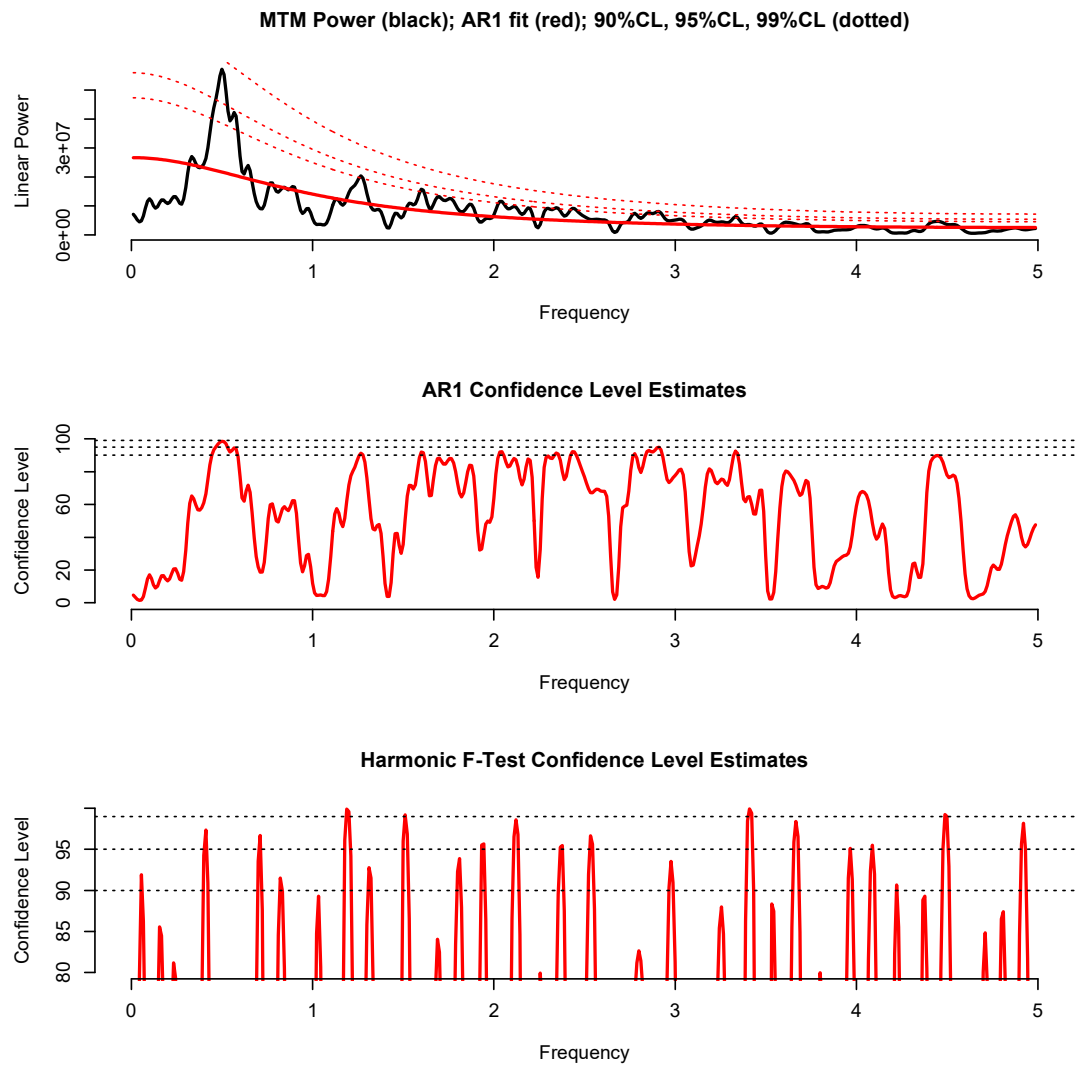
Obr. 24. Vrt HK772, koncentrace Sr, odfiltrované signály s1 a s3.

Modulace s3 je v intervalu c. 228-245 téměř koherentní s s1, což by mohlo podporovat interpretaci z metody ASM, že se jedná o precesi a krátkou excentricitu.

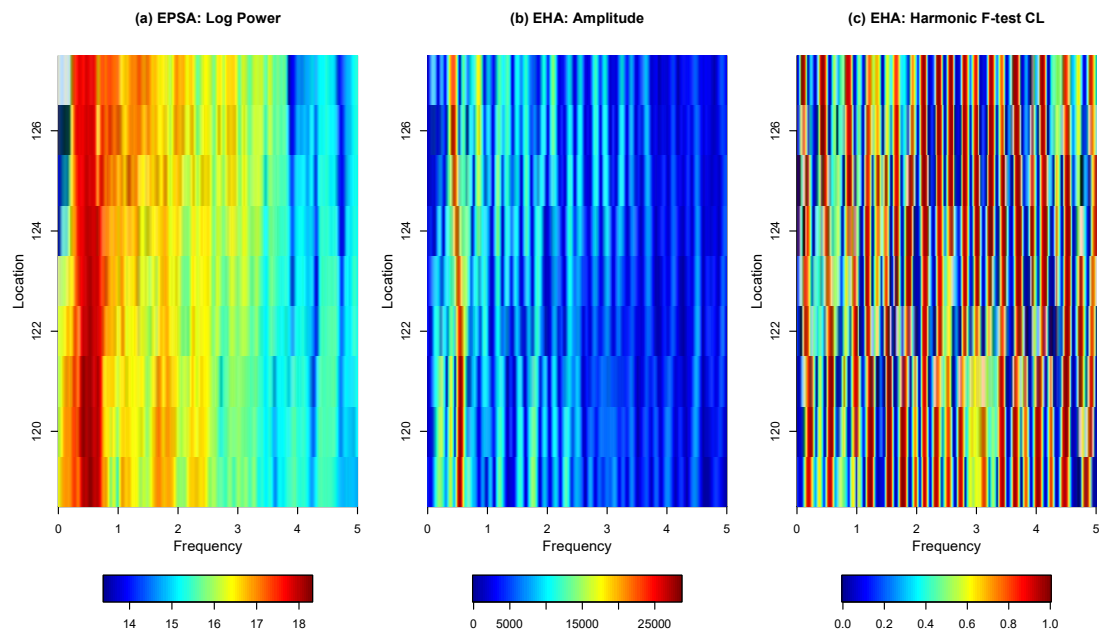


Obr. 25. Dtto Fig. 4 pro frekvence s F -test signif. ≥ 0.97 .

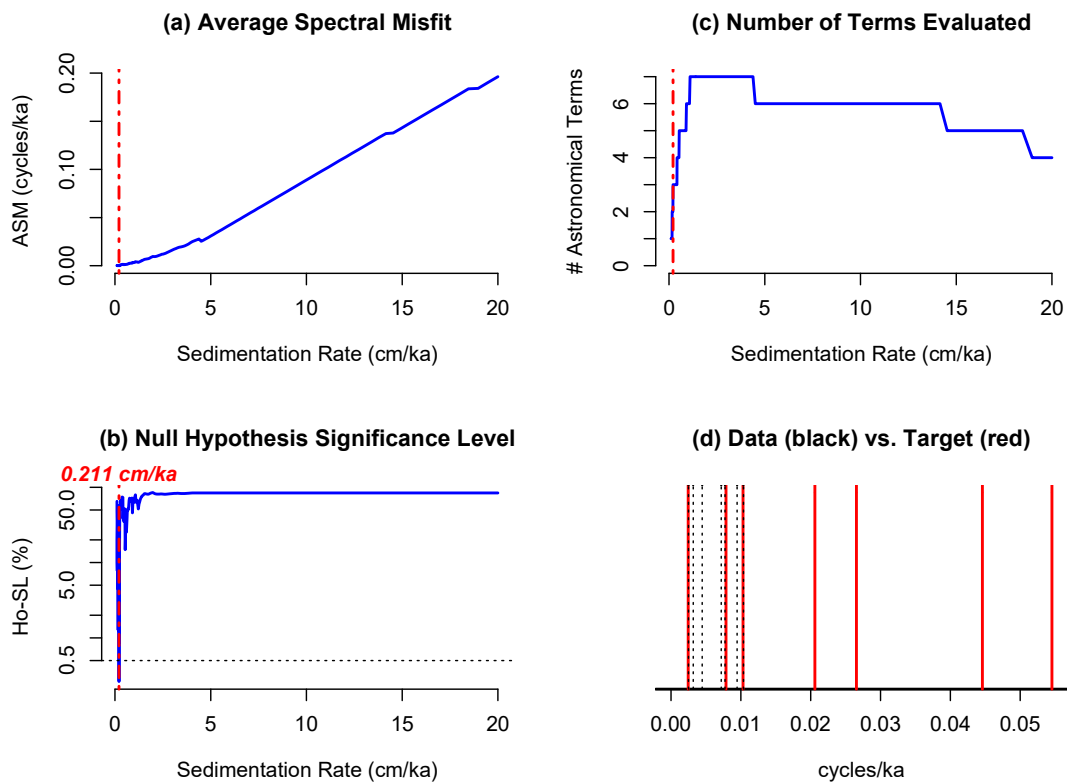
Obr. 26–29 (níže) ukazují výsledky analýz vrtu SP312 stejnými metodami, jaké jsou diskutovány výše pro vrt HK772. Astronomický signál odpovídající s2 ve vrtu HK772 je v SP312 také, ale s1 a s3 jsou špatně rozlišitelné, a metoda ASM proto nedává srozumitelný výsledek. Lepšího výsledku nebylo dosaženo ani při použití menšího okna posunutého k dolní, nebo horní hraně časové řady. Tento postup by za obvyklých okolností měl odstranit vliv dlouhodobé změny sedimentační rychlosti. Zjištění ilustrují nestabilitu spektrálních výsledků a nejistotu v určení astronomického signálu.



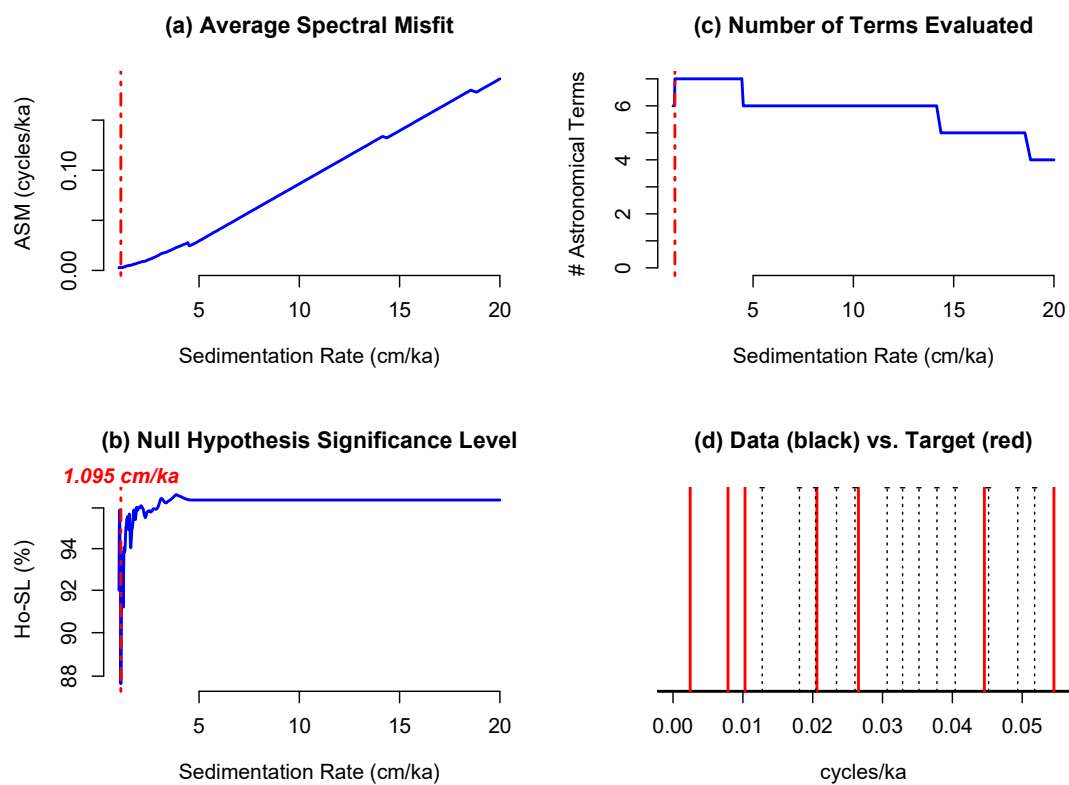
Obr. 26. Vrt SP312, koncentrace Fe, metoda MTM. Metoda našla jednu frekvenci cca 0,5 cyklu/m



Obr. 27. Vrt SP312, koncentrace Fe, metoda EHA. I tato metoda ukazuje potenciální astronomickou frekvenci kolem 0,5 cyklu/m.



Obr. 28. Vrt SP312, koncentrace Fe, metoda ASM, metoda provedená pro hranici významnosti ≥ 0.98 . Metoda neposkytuje rozumný odhad sedimentační rychlosti. Je to důsledkem faktu, že metodou MTM byla nalezena jen jedna potenciálně astronomická frekvence.



Obr. 29. Vrt SP312, koncentrace Fe, metoda ASM provedená pro hranici významnosti ≥ 0.95 . Hodnocení podobně jako hodnocení v popisku k Obr. 28.

6. Interpretace a diskuze

Matys Grygar et Mach (2013) zjistili v mosteckém souvrství několik stratigraficky významných geochemických anomálií, mající charakter korelačních horizontů. Jejich polohu lze vztáhnout k existujícím stratigrafickým jednotkám, navrženým Domácím (1975) a v navazujícím i na práce Elznice (1996) a Váněho (1987). Prvkové změny v sedimentech jsou podmíněny hlavně souhrou procentních zastoupení illit-smektitických struktur (s převahou smektitických vrstev), kaolinitu, křemenu a sideritu, které jsou hlavními minerálními složkami sedimentu. Dle Matyse Grygara et Macha (2013) se na hranici holešických a libkovických vrstev vyskytuje minimum poměru K/Ti, toto minimum je úsek mocný několik metrů a značí dle poznatků předchozích prací Grygara a Macha břesťanské jíly, které autorka našla ve všech vrtech (obr. 13-16).

Matys Grygar et Mach (2013) a Mach et al. (2014) zjistili, že prostorově rozrůzněný vývoj holešických vrstev byl ukončen nejpozději vznikem celopánevního jezera, a dokonce možná i dříve. V sedimentárním záznamu se vznik celopánevního jezera projevil nástupem monotónních sedimentů s nevýrazně odlišnou litologií, ale jednoznačnou změnou mineralogie jílové složky sedimentů. Rentgenová difrakční analýza studovaných vzorků potvrdila, že paleontologicky známá vrstva břesťanských jíků a jejich laterálních ekvivalentů má nízký obsah expandabilních jílových minerálů a obsahuje vrstvičky karbonátických jílovců. Tato dosud nevyužitá metoda se proto ukázala jako vhodný metodický postup ke stanovení změn v minerálním složení litologicky monotónního komplexu a určení rozhraní libkovických a holešických vrstev, respektive břesťanských jíků. Národním příkladem jsou rentgenograficky doložené změny v obsahu jílových minerálů ve vrtu LB435 (příloha 9), kde od hloubky 108,45 směrem dolů klesá obsah illit-smektitických struktur. V rozmezí hloubek 110,35 – 110,80 illit-smektitické struktury téměř vymizí a dále již nejsou znatelné. Toto rozmezí značí přechod libkovických a holešických vrstev (resp. břesťanských jíků).

Světlešedé až černošedé, obvykle velmi tenké laminované až masivní jíly spodnomiocenního stáří, označované jako břesťanské jíly, byly bezpečně identifikovány ve všech čtyřech studovaných vrtech. Tři vrty se nacházely v okolí lomu Bílina a jeden v okolí DNT. Tato část vrstevního sledu je postižena monotónní bioturbací. Jedná se o úzké (0,7 – 1,5 mm), nepravidelně se větvící, přímé nebo mírně zakřivené, zhruba

válcovité chodbičky, jejichž průměr v rámci jedince není konstantní (Mikuláš et al. 2003). Vazba sideritu na bioturbaci by mohla znamenat řízení změnou prostředí. Pokud pak změny prostředí vykazují pravidelnost neboli cyklicitu, jako je to v případě uvedeném ve výsledcích, obvykle se pak z toho vyvozuje řízení změnou klimatu, která je z podstaty věci důsledkem astronomických cyklů (Matys Grygar 2017, ústní sdělení). Požadavek na souvislý sedimentární záznam, který by mohl zachovat vliv klimatické cyklicity, ale skoro vylučuje deltové prostředí jako vhodné pro tento účel. Jelikož dva vrty, a to LB435 a LB382, se nacházejí v ose bílinské delty a byly v dosahu variabilního přínosu delty. Proto tyto dva vrty nebylo možné použít pro metodu korelace. Jelikož ale v katastrálním území Hrdlovka v bílinské části, kde se nachází vrt HK772 a v tušimické části, kde se nachází vrt SP312, byla již v té době místní jezera (Mach et al. 2014) a současně tam nedosahoval přímý vliv bílinské delty, je v těchto úsecích naděje na záznam klimatu.

Autorka prováděla měření pomocí mobilního XRF spektrometru, který se osvědčil na těžší prvky, konkrétně Fe a Sr, které mají v břešťanských jílech velmi typické hloubkové profily (obr. 19). Naproti tomu lehčí prvky mobilní XRF spektrometr měřil již hůře. Analýza mobilním XRF neukázala jednoznačně K/Ti minima, jako laboratorní XRF spektrometrie prováděná Matys Grygarem et Machem (2013). Toto může být způsobeno samotným měřením méně robustním přístrojem, nebo tím, že se při měření v terénu vzorek nehomogenizuje. Vzhledem k menší časové náročnosti je však tato měření mobilním XRF spektrometrem vhodnější pro detailnější výzkum s vyšší hustotou měření a tím i větším stratigrafickým rozlišením. Vyhodnocení výsledků poskytlo nový pohled na zdánlivě monotónní šedé jíly. Naměřené hodnoty a z nich sestavené křivky změn obsahu některých chemických prvků v profilech vrtů vykazují značnou míru podobnosti. Lze tak identifikovat a korelovat shodné i několik metrů mocné úseky sedimentů ve vrtech vzdálených od sebe desítky kilometrů. Autorce se pomocí těchto dat povedlo korelovat vrty HK772 z oblasti Hrdlovky v bílinské části a vrt SP312 z tušimické části (obr. 19).

Pozitivní výsledky přinesla identifikace možných astronomických cyklů metodami MTM a EHA. Analýza hloubkových profilů Fe ve dvou vrtech ukázala možné astronomické cykly. V SP312 to byla jedna frekvence kolem 0,5 cyklu/m, což odpovídá vlnové délce kolem dvou metrů. To je v dobrém souladu s poznatky terénních geologů, podle nichž je v asi 15-20 m mocných břešťanských jílech asi 8 hlavních sideritových lamin (Mach 2015, ústní sdělení). Nejlépe tomuto údaji odpovídají výsledky popisu a

měření z vrtu LB382, kde bylo rovněž identifikováno 8 sideritem bohatších vrstviček v rámci vrstvy břesťanských jílu (tento vrt je také nejbližší k dokumentovaným stěnám lomu). Frekvence s 0,5 cyklu/m se vyskytuje také ve vrtu HK772 (označená jako s2 na obr. 20). Tato koincidence by mohla ukazovat na společný řídicí mechanismus.

Využití metody ASM komplikoval fakt, že ve vrtu SP312 byl nalezen jen jeden možný astronomický cyklus, což použití metody ASM prakticky vylučuje. Ve vrtu HK772 bylo nalezeno možných cyklů víc, než se dá očekávat, tj. některé z nalezených cyklů není možno konvenčně přiřadit k základním astronomickým cyklům. Cykly „navíc“ by mohly být harmonické cykly precese, zmíněné i v kapitole 5.4. Použití metody ASM ve vrtu HK772 ale díky zjištění více možných astronomických cyklů své opodstatnění má. Její výsledek (obr. 23) ukazuje dvě možné sedimentační rychlosti (za předpokladu, že nalezené frekvence opravdu odpovídají astronomickým cyklům): kolem 5 cm/tis. let a kolem 10 cm/tis. let. Kdyby frekvence kolem 0,5 cyklu/m odpovídala precesi (kolem 20 tis. let), odpovídalo by to rychlosti sedimentace kolem 10 cm/tis. let.

Matys Grygar et al. (2014) našli ve vrtu HK591, který je velmi podobný HK772, v libkovických vrstvách sedimentační rychlost 19.2 cm/ tis. let. Jejich poslední práce ukazuje, že sedimentační rychlost těsně pod hranicí holešických/libkovických vrstev, kde se nacházejí břesťanské jíly byla poněkud menší, někde mezi 6 a 15 cm/ tis. let (Matys Grygar et al. v tisku). Proto by se dala sedimentační rychlost kolem 10 cm/ tis. let považovat za přijatelný odhad.

7. Závěr

Břešťanské jíly ve stropu holešických vrstev v nadloží hlavní hnědouhelné sloje mostecké pánve představují heterochronní ukončení uhlotvorby zatopením rašeliniště a nástupem klastické sedimentace. Zatápění rašeliniště je spojeno se vznikem lokálních jezer, které se postupně spojovaly v celopánevň jezero se sedimentací laminovaných jílu libkovických vrstev. Počátek vzniku celopánevň jezera se v sedimentárním záznamu litologicky neprojevuje; je však spojen s výraznou změnou ve složení jílových minerálů vyjádřenou poměrem K/Ti. Toto mineralogické a geochemické rozhraní lze využít pro identifikaci hranice mezi holešickými a libkovickými vrstvami. V diplomové práci byl interval odpovídající břešťanským jílu identifikován a studován komplexem geochemických a mineralogických metod ve čtyřech vrtech v předpolí lomů Bílina a Doly Nástup Tušimice. Součástí výzkumu vrtů byla i frekvenční analýza vrtných jader na základě rozdílů v obsahu železa zjištěného geochemickými metodami s cílem zjistit možný klimatický signál související se změnou orbitálních parametrů zemského tělesa (Milankovičovy cykly). Výsledky studia vrtných profilů lze shrnout následovně:

- Kombinovaným studiem jílových sedimentů v nadloží uhelné sloje metodami makro a mikro popisu, rentgenové difrakční analýzy a zjištěním elementárního složení ručním rentgen-fluorescenčním spektrometrem byly identifikovány změny v mineralogickém a petrografickém složení jílu interpretované jako změny v provenienci klastického materiálu přinášeného do pánve.
- Ve všech čtyřech studovaných vrtech se podařilo identifikovat polohu břešťanských jílu, tedy vrstvu z období přechodu uhlotvorného močálu a místních fluvilakustrinních prostředí k celopánevň jezeru. Při analýze se osvědčil mobilní XRF přístroj, a to především pro analýzu těžších prvků Fe a Sr, méně již pro lehčí prvky K a Ti. Přesto se podařilo analyzované sedimenty zařadit do již publikovaného chemostratigrafického schématu sedimentů mostecké pánve a potvrdit tak jeho platnost.
- Detailním geochemickým měřením s krokem po deseti centimetrech byly zjištěny cyklicky kolísající obsahy železa, které souvisejí s rozdílnou intenzitou bioturbace podmíněnou množstvím vysráženého sideritu. Sideritové vrstvy v břešťanských jílech představují významné korelační horizonty, které lze

sledovat mezi bílinskou (vrt HK772) a tušimickou částí pánve (vrt SP312). Na Bílinsku (vrty LB435, LB382) to však je velmi problematické vzhledem k místním přechodům souvisle bioturbovaných vrstviček k vrstvičkám bioturbovaných nesouvisle z důvodu vlivu relativně blízké jezerní delty.

- Studium cyklicity vertikální distribuce sideritových lamin metodou frekvenční analýzy ve vrtech HK772 a SP312 ukazuje na možný záznam astronomického cyklu s vlnovou délkou kolem 2 m související s periodickými změnami v geochemii pórové vody. Sideritové laminy jsou spojeny s vysokou mírou bioturbace, což ukazuje, že vznik sideritu souvisel s prostředím a bioproduktivitou. Pravidelné cyklické změny prostředí v sedimentárním záznamu se konvenčně přisuzují astronomickým cyklům, a tedy změně klimatu. Analýza cyklicity naznačuje, že cyklus s vlnovou délkou kolem 2 m patrně odpovídá záznamu cyklu precese zemské osy a že se tedy břešťanské jíly ukládaly rychlostí kolem 10 cm/tis. let.
- Zjištěné poznatky jsou v souladu s předchozími nedávnými geochemickými studiemi v nadložních libkovických vrstvách.

8. Poděkování

Na závěr považuje autorka za povinnost poděkovat lidem, kteří se jakoukoliv měrou podíleli na vzniku této diplomové práce. Velké díky si zaslouží v pozici školitele doc. RNDr. Stanislav Opluštil, Ph.D. (PřF UK Praha) především za cenné konzultace v oborech sedimentární a uhelné geologie, paleogeografie a za kontrolu formální náplně práce. Školitel stál rovněž za finanční podporou vyhotovení výbrusů, difrakčních analýz a frekvenčních analýz. Autorce také poskytl mnoho zdrojů literatury vztahující se k této diplomové práci.

Velký dík patří Ing. Karlovi Machovi, Ph.D. (Severočeské doly a.s.), který stál za zrodem tématu diplomové práce a zajistil potřebný přístup k hmotné i grafické dokumentaci související s řešenou problematikou. Díky němu bylo autorce umožněno navštívit lokality DB a DNT a měřit přenosným rentgen-fluorescenčním spektrometrem. Autorka také děkuje za velmi plodné konzultace při interpretaci naměřených dat.

Poděkování dále patří RNDr. Tomášovi Matys Grygarovi, CSc. (Ústav anorganické chemie AV ČR) především za cenné konzultace v oboru geochemie a paleogeografie a za finanční podporu geochemické části diplomové práce.

Veliké poděkování patří Mgr. Jiřímu Laurinovi Ph.D. za provedení frekvenčních analýz a velmi plodné konzultace, týkající se dané problematiky a interpretace získaných výsledků.

Rovněž bych ráda poděkovala doc. RNDr. Václavovi Kachlíkovi (PřF UK Praha) za pomoc s mikroskopickým popisem výbrusů a za možnost autorce pořizovat mikrofotografie výbrusů. Za interpretace rentgenových difrakčních záznamů autorka vděčí Mgr. Viktorovi Goliášovi, Ph.D. (PřF UK Praha).

9. Seznam použité literatury

- BUCHA, V., ELZNIC, A., HORÁČEK, J., MALKOVSKÝ, M., PAZDERKOVÁ, A. 1987.** Paleomagnetic timing of the Tertiary of the North Bohemian Brown-Coal Basin. – Věstník ústředního ústavu geologického, 62, (2): 83-95.
- CAJZ, V., RAPPRICH, V., ERBAN, V., PÉCSKAY, Z., RADOŇ, M. 2009.** Late miocene volcanic activity in the České středohoří Mountains (Ohře/Eger Graben, northern Bohemia). *Geologica Carpathica*, 60, (6): 519–533.
- DOMÁCÍ, L. 1975.** Litostratigrafie třetihorních sedimentů v hnědouhelné severočeské pánvi. *Acta Universitatis Carolinae, Geologie*, 1975, (1): 75-80.
- ELZNIC, A. 1973.** Sedimenty neogénu a vývoj uhelné sloje v mostecké části severočeské pánve. *Sborník geologických věd, Geologie*, 24: 175–204.
- ELZNIC, A., ČADKOVÁ, Z., DUŠEK, P. 1998.** Paleogeografie terciérních sedimentů severočeské pánve. *Sborník geologických věd, Geologie*, 48: 19–46.
- HAVLENA, V. 1982.** Vznik podkrušnohorských pánví. – VIII. Exkurze Uhlé. *Geologie seminář Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy (Praha)*, 5–14
- HURNÍK, S., HAVLENA, V. 1984.** Podkrušnoorské hnědouhelné pánve a Krušné hory jako součásti neotektonické velevrásové struktury. – *Časopis pro mineralogii a geologii*, 29 (1): 55-67.
- HURNÍK, S. 1978.** Reconstruction of the thickness of the Overlying Complex in North Bohemian Brown-coal Basin (Miocene). – *Časopis pro mineralogii a geologii*, 23 (3): 265-276.
- KOPECKÝ, L. et al. 1990.** Vysvětlivky k základní geologické mapě ČSSR 1 : 25 000 02-34 list Bílina. 112 str. – Ústřední ústav Geologický Praha
- KVAČEK, Z., DVOŘÁK, Z., MACH, K., SAKALA, J. 2004.** Třetihorní rostliny severočeské hnědouhelné pánve. *Granit, s.r.o., Praha*, 160 str.

MACH, K. 2002. Genesis of large scale syndepositional deformations of main coal seam - Miocene Bilina delta, Most Basin, Czech Republic. - 5th Eur. Coal Conf., Mons-Frameries, Belgie 1990.

MACH, K. 2010. A new concept of palaeogeographic development of the Most Basin area during Miocene. SDGG. Heft 68 – GeoDarmstadt 2010.

MACH, K., SÝKOROVÁ, I., KONZALOVÁ, M., OPLUŠTIL, S. 2013. Effect of relative lake-level changes in mire – lake system on the petrographic and floristic composition of a coal seam, in the Most Basin (Miocene), Czech Republic. International Journal of Coal Geology, 105: 120–136.

MACH, K., MATYS GRYGAR, T. 2014. Milion let jezera. Vesmír. 2014, 93: 424-428.

MACH, K., TEODORIDIS, V., MATYS GRYGAR, T., KVAČEK, Z., SUHR, P., STANDKE, G. 2014. An evaluation of paleogeography and palaeoecology in the Most Basic (Czech Republic) and Saxony (Germany) from the late Oligocene to the early Miocene. N. Jb. Geol. Paläont. Abh. 272/1: 13-45.

MALKOVSKÝ, M. 1980. Model of the origin of the Tertiary basins at the foot of the Krušné hory Mts.:volcanotectonic subsidence – Věstník ústředního ústavu geologického, 55 (3): 141-150.

MALKOVSKÝ, M. et al. 1985. Geologie severočeské hnědouhelné pánve a jejího okolí. Academia. Praha: 423-424 str.

MATYS GRYGAR, T. et MACH, K. 2013 a. Chemostratigraphy of Miocene sediments in Most Basin – Zprávy o geologických výzkumech v roce 2012. A – regionální geologie a stratigrafie, 26-29; Praha (Czech Geological Survey)

MATYS GRYGAR, T., MACH, K. 2013 b. Regional chemostratigraphic key horizons in the macrofossil-barren siliciclastic lower Miocene lacustrine sediments (Most Basin, Eger Graben, Czech Republic). Bulletin of Geosciences, 1372: 557-571.

MATYS GRYGAR, T., MACH, K., SCHNABL, P., PRUNER, P., LAURIN, J., MARTINEZ, M. 2014. A lacustrine record of the early stage of the Miocene Climatic Optimum in Central Europe from the Most Basin, Ohře (Eger) Graben, Czech Republic. *Geological Magazine* 151 (6):1013-1033.

MATYS GRYGAR, T., HOŠEK, M., MACH, K., SCHNABL, P., MARTINEZ, M., v tisku. Climatic instability in a Central European lacustrine record before the Miocene Climatic Optimum.

MEYERS, S.R., SAGEMAN, B.B., HINNOV, L.A., 2001. Integrated quantitative stratigraphy of the Cenomanian–Turonian Bridge Creek Limestone Member using evolutive harmonic analysis and stratigraphic modeling. *J. Sediment. Res.* 71: 628–644.

MEYERS, S.R., SAGEMAN, B.B., 2007. Quantification of deep-time orbital forcing by average spectral misfit. *Am. J. Sci.* 307, 773–792. <http://dx.doi.org/10.2475/05.2007.01>.

MIKULÁŠ, R. 1996. Bioturbace jílových sedimentů severočeské hnědouhelné pánve v nadloží hlavní uhelné sloje. Abstrakty konference Sedimentární geologie v České republice, geologická sekce Přírodovědecké fakulty University Karlovy, 29; Praha.

MIKULÁŠ, R., MACH, K., DVOŘÁK, Z. 2003. Bioturbation of claystones of the Most Basin in the Bílina quarry (Miocene, Czech Republic). *Acta Universitatis Carolinae, Geology* 47: 79–85.

MÍSAŘ, Z., DUDEK, A., HAVLENA, V., WEISS, J. 1983. *Geologie ČSSR I. Český masív.* Státní pedagogické nakladatelství Praha. 333 str.

NOVOTNÝ, T. 2013. Geneze a paleogeografický význam proplátek hlavní hnědouhelné sloje mostecké pánve. Praha. Dostupné z: Repozitář závěrečných prací – Univerzita Karlova. Diplomová práce. Univerzita Karlova. Vedoucí práce doc. RNDr. Stanislav Opluštil, Ph.D.

PEŠEK, J. 2010. Terciární pánve a ložiska hnědého uhlí České republiky. Česká geologická služba, Praha, 415 str.

RAJCHL, M., ULIČNÝ, D. 2005. Depositional record of an avulsive fluvial system controlled by peat compaction (Neogene, Most Basin, Czech Republic). *Sedimentology* 52: 601–625.

RAJCHL, M., ULIČNÝ, D., GRYGAR, T., MACH, K. 2009. Evolution of basin architecture in an incipient continental rift: the Cenozoic Most Basin, Eger Graben (Central Europe). *Basin Research*, 21: 269-294.

RAPPRICH, V. 2012. *Za sopkami po Čechách*. Grada Publishing, a.s. p. 240. ISBN 978-80-247-3796-6.

THOMSON, D.J., 1982. Spectrum estimation and harmonic analysis. *Proc. IEEE* 70, 1055–1096. <http://dx.doi.org/10.1109/PROC.1982.12433>.

VÁNĚ, M. 1987. Significance and position of the Basal Coal Beds in the Tertiary North Bohemian Brown-coal Basin. *Časopis pro mineralogii a geologii*, 32 (3): 287–297.

Internetové zdroje

<https://en.wikipedia.org/wiki/Chemostratigraphy>

<http://www.sdas.cz/posts/geologie.aspx>

<http://www.hukos.cz>

<http://www.chemostrat.com>